### УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

**№** 5 2018

ISSN 1681-7494

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ - 0,746

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ - 0,601

Журнал издается с 2001 г.

Электронная версия: http://www.natural-sciences.ru

Правила для авторов: http://www.natural-sciences.ru/ru/rules/index

Подписной индекс по каталогу «Роспечать» - 70062

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
Ледванов Михаил Юрьевич, д.м.н., профессор
ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Курзанов Анатолий Николаевич, д.м.н., профессор
Чернева Ирина Николаевна, к.с.-х.н.
Ответственный секретарь редакции
Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.с.-х.н., доцент Абдулвалеев Р.Р. (Уфа); д.г.-м.н., проф., Абилхасимов Х.Б. (Астатна); д.т.н., проф. Айдосов А. (Алматы); д.с.-х.н., проф. Алабушев А.В. (Зерноград); д.г.-м.н., проф., Алексеев С.В. (Иркутск); д.х.н., проф., Алоев В.З. (Нальчик); д.г.н., проф. Андреев С.С. (Ростов-на-Дону); д.г.н., доцент, Андреева Е.С.(Ростов-на-Дону); д.с.-х.н., доцент Анищенко Л.Н. (Брянск); д.с.-х.н., проф. Байрамбеков Ш.Б. (Камызяк); д.т.н., проф. Бейсембаев К.М. (Караганда); д.т.н., проф. Белозеров В.В. (Ростов-на-Дону); д.б.н., доцент Белоус О.Г. (Сочи); д.с.-х.н., проф. Барикий Новгород); д.г.-м.н., проф. Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.г.-м.н., проф. Гавришин А.И. (Новочеркасск); д.с.-х.н., Горбачева А.Г. (Пятигорск); д.с.-х.н., Горянин О.И. (Самара); д.г.-м.н., проф. Гусев А.И. (Бийск); д.с.-х.н., проф. Данилин И.М. (Красноярск); д.б.н., доцент Долгов А.В. (Мурманск); д.э.н., проф. Долятовский В.А. (Ростов-на-Дону); д.х.н., проф. Дресвяников А.Ф. (Казань); д.г.н., проф. Егорина А.В. (Усть-Каменогорск); д.т.н., проф. Ерофеев В.И. (Томск); д.с.-х.н., проф. Зволинский В.П. (Волгоград); д.х.н., проф. Ивашкевич А.Н. (Москва); д.б.н., доцент Кавиевич Н.Н. (Мурманск); д.т.н., проф. Калякин С.А. (Донецк); д.с.-х.н., проф. Караев М.К. (Махачкала); д.г.-м.н., проф. Кашаев А.А. (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. Кобрунов А.И. (Ухта); д.г.-м.н., доцент Копылов И.С. (Пермь); д.г.-м.н., проф. Костицьн В.И. (Пермь); д.г.-х.н., проф. Костылев П.И. (Зерноград); д.э.н., проф. Косякова И.В. (Самара); д.с.-х.н., Коцарева Н.В. (Белгород); д.т.н., доцент Кузяков О.Н. (Тюмень); д.г.-м.н., проф. Кучеренко И.В. (Томск); д.б.-и., проф. Мусаев В.К. (Москва); д.г.-м.н., проф. Лебедев В.И. (Кызыл); д.ф.-м.н., проф. Лерер А.М. (Ростов-на-Дону); д.г.н., проф. Луговской А.М. (Москва); д.г.-м.н., проф. Косякова О.В. (Саратов); д.г.-м.н., проф. Партоев К. (Душанбе); д.с.-х.н., проф. Мусаев В.К. (Москва); д.т.н., проф. Петров М.Н. (Красноярск); д.т.н., проф. Пирумян Г.П. (Ереван); д.с.-х.н., обф. Петров П.Н. (Саратов); д.г.-м.н., проф. Титов В.А. (Москва); д

Журнал «УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство – ПИ № ФС 77-63398.

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатен.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,746.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,601.

Журнал зарегистрирован в Centre International de l'ISSN. ISSN 1681-7494.

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

Учредитель, издательство и редакция: ИД «Академия Естествознания»

Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47

Ответственный секретарь редакции – Бизенкова Мария Николаевна – +7 (499) 705-72-30 E-mail: edition@rae.ru

Подписано в печать -06.06.2018 Дата выхода номера -06.07.2018

Формат 60х90 1/8 Типография ООО «Научно-издательский центр Академия Естествознания», г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Техническая редакция и верстка Митронова Л.М. Корректор Галенкина Е.С.

Способ печати – оперативный. Распространение по свободной цене. Усл. п.л. 21,88 Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/5-2018 Подписной индекс 70062

© ИД «Академия Естествознания»

### СОДЕРЖАНИЕ

Химические науки (02.00.00)
ОСОБЕННОСТИ ФОТОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕРМИЧЕСКИХ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ПЛЕНОК
Иваницкий А.Е., Минич А.С., Буценко Е.С., Гизбрехт С.В., Ивлев Г.А
О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФЕНИЛАРИЛАМИНО-4-АНТИПИРИЛМЕТАНОВ В КАЧЕСТВЕ МАСКИРУЮЩИХ АГЕНТОВ
Летунов В.И., Лимберова В.В., Салогуб Е.В., Кузнецова Н.С., Федоров И.А., Бочарников Ф.Н., Пузынин Д.В., Иванова Т.В
Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)
МЕЖПОПУЛЯЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЗНАКОВ ПЛОДА ОХРАНЯЕМОГО ВИДА ДАГЕСТАНА – SMILAX EXCELSA L. Алиев $X.Y.$ 20
ЗИМОСТОЙКОСТЬ И МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ В АНТРОПОГЕННОЙ СРЕДЕ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ Андронова М.М
ВЛИЯНИЕ УКЛОНА МЕСТНОСТИ НА РАЗВИТИЕ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ И ЭРОЗИЮ ПОЧВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ Гочияева 3.У., Гедиев К.Т., Токова $\Phi$ .М.
ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЫСТРОТВЕРДЕЮЩЕЙ ПЕНЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ОТ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ Кректунов А.А., Залесов С.В., Хабибуллин А. $\Phi$ .
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ ПОД РАСТИТЕЛЬНЫМИ ЦЕНОЗАМИ АГРОЛАНДШАФТА Медведев И.Ф., Бузуева А.С., Губарев Д.И., Верин А.Ю.
ФОРМИРОВАНИЕ АЗОТНОГО РЕЖИМА В ПАРОВЫХ ПОЛЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ Сайфуллина Л.Б., Курдюков Ю.Ф., Шубитидзе Г.В., Воронцова О.А
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ПОВЫШЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ ОЗЕЛЕНЕНИЯ
Семенютина А.В., Подковыров И.Ю., Подковырова Г.В., Семенютина В.А
Науки о Земле (25.00.00)
МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВНЕШНИХ МАСШТАБОВ ТУРБУЛЕНТНОСТИ $\Gamma$ Ладких $B.A.$ , $Heвзорова$ $U.B.$ , $Oдинцов$ $C.Л.$
ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ОТБИТОЙ РУДЫ НА ПОТЕРИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ ЕЕ НАХОЖДЕНИЯ В БЛОКЕ ДО ВЫПУСКА ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ Зубков В.П., Петров Д.Н., Необутов Г.П
МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ И ЗОНАЛЬНОСТЬ МНОГОМЕТАЛЛЬНО-СЕРЕБРЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ НИЖНЕ-ТАЕЖНОГО РУДНОГО УЗЛА (СЕВЕРНОЕ ПРИМОРЬЕ) Ивин В.В., Медведев Е.И., Фатьянов И.И. 76
ОПАСНЫЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ В ГЛУБОКОЙ АВТОДОРОЖНОЙ ВЫЕМКЕ Квашук С.В., Кулаков В.В., Гильмутдинов С.А.
ГИДРОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДЫ НЕКОТОРЫХ ОЗЕР ЛЕНО-АМГИНСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ И ПРОБЛЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЕНИЯ Константинов $A.\Phi.$ , Николаева $H.A.$

ВУЛКАНОГЕННЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ КАНГАЛАССКОЙ ТЕРРАСЫ (ЛЕВЫЙ БЕРЕГ РЕКИ ЛЕНА, ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ)  Костин А.В., Трунилина В.А.	92
ГЕОСИСТЕМНОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ ПРИРОДНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА (НА ПРИМЕРЕ РЕГИОНОВ СЕВЕРНОЙ АЗИИ)  Кузнецова Т.И.	101
МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ПРИРОДНЫХ (ЕСТЕСТВЕННЫХ) ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ГРАНАТ-МАГНЕТИТОВЫХ ШЛИХОВ ЮГО-ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАМЧАТКИ Кунгурова В.Е.	107
ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ СМЕРЗШИХСЯ ГОРНЫХ ПОРОД НА СДВИГ	11.4
Максимов М.С., Панишев С.В., Козлов Д.С.  ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ПАРАТУНСКОГО ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ЧИСЛЕННОСТЬ И ГЕОХИМИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ МИКРООРГАНИЗМОВ ИЛОВОГО СУЛЬФИДНОГО ПЕЛОИДА	114
Мурадов С.В.  ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ РЕК В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ЯКУТИИ	120
Ноговицын Д.Д., Шеина З.М., Сергеева Л.П., Потапова Т.В	126
ЮГА СРЕДНЕЙ СИБИРИ И ГОР ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА <i>Скрыльник Г.П.</i> РАЗНООБРАЗИЕ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЧВ БАССЕЙНА ОЗ. БАЙКАЛ	131
Убугунов Л.Л., Гынинова А.Б., Белозерцева И.А., Убугунов В.Л., Доржготов Д., Сороковой А.А., Убугунова В.И., Бадмаев Н.Б., Балсанова Л.Д., Гончиков Б.Н., Цыбикдоржиев Ц.Ц.	142
ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕКВЕНС-СТРАТИГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА В ПОСТРОЕНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ВОССОЗДАНИЯ ЭВОЛЮЦИИ НЕФТЕГАЗОНОСНОГО БАССЕЙНА Уваров Ф.В.	152
ЭКОЛОГО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЧНОЙ ВОДЫ ВОДОТОКОВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПО СОДЕРЖАНИЮ ДЕТЕРГЕНТОВ Шишлова М.А.	158
ВАНАДИЙ В КРИСТАЛЛАХ БЕРИЛЛА РАЗЛИЧНОЙ ОКРАСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШЕРЛОВАЯ ГОРА (ЮГО-ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ) <i>Юргенсон Г.А., Борзенко А.А.</i>	164
Научный обзор	
Науки о Земле	
КЛИМАТИЧЕСКАЯ АСИММЕТРИЯ СКЛОНОВ РЕЧНЫХ ДОЛИН Куржанова А.А.	169

### **CONTENTS**

Chemical sciences (02.00.00)	
PECULIARITIES OF PHOTOPHYSICAL PROPERTIES OF THERMAL POLYETHYLENE FILMS  Ivanitskiy A.E., Minich A.S., Butsenko E.S., Gizbrekht S.V., Ivlev G.A.	
ON THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF PHENYLARYLAMINO-4-ANTIPIRYLMETHANI AS MASKING AGENTS  Letunov V.I., Limberova V.V., Salogub E.V., Kuznetsova N.S., Fedorov I.A., Bocharnikov F.N., Puzynin D.V., Ivanova T.V.	
Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)	
INTERPOPULATION VARIABILITY OF THE FRUIT CHARACTERISTICS OF DAGESTAN PROTECTED SPECIES – SMILAX EXCELSA L.  Aliev Kh.U.	20
WINTER HARDINESS AND FROST RESISTANCE OF WOOD SPECIES IN THE ANTHROPOGENIC ENVIRONMENT OF EUROPEAN NORTH OF RUSSIA  Andronova M.M.	26
INFLUENCE OF THE SURFACE SLOPE ON THE DEVELOPMENT OF THE ROOT SYSTEM AND EARTH EROSION IN DEPENDENCE ON THE TYPE OF LAND USE Gochiyaeva Z.U., Gediev K.T., Tokova F.M.	33
PERSPECTIVE OF FAST CURING FOAM APPLICATION FOR POPULATED AREAS PROTECTION FROM NATURE FIRES  Krektunov A.A., Zalesov S.B., Khabibullin A.F.	40
FEATURES OF FORMATION OF EFFECTIVE FERTILITY OF SOILS UNDER BROWNING AGROLANDSCAPE  Medvedev I.F., Buzueva A.S., Gubarev D.I., Verin A.Yu.	45
FORMATION OF NITROGEN REGIME IN THE FALLOW FIELDS OF THE STEPPE ZONE OF THE LOWER VOLGA REGION  Straff line L. R. Krandarken V. F. Shakitidas C. V. Krandarken O. A.	5.0
Sayfullina L.B., Kurdyukov Yu.F., Shubitidze G.V., Vorontsova O.A.  EVALUATION OF EFFICIENCY OF ACTIVITIES DIRECTED TO IMPROVE BIODIVERSITY IN RECONSTRUCTION OF OBJECTS OF GARDENING  Semenyutina A.V., Podkovyrov I.Yu., Podkovyrova G.V., Semenyutina V.A.	
Earth sciences (25.00.00)	
METHODICAL ASPECTS OF DETERMINATION OF THE OUTER SCALES OF TURBULENCE	
Gladkikh V.A., Nevzorova I.V., Odintsov S.L.	64
THE INFLUENCE OF MOIST FREED ORE ON LOSSES COMPARED TO ITS TIME IN THE BLOCK BEFORE DISCHARGE DURING MINING DEPOSITS OF CRYOLITHOZONE <i>Zubkov V.P., Petrov D.N., Neobutov G.P.</i>	71
MINERAL -GEOCHEMICAL TYPESIZATION AND ZONALITY OF MULTIMETAL SILVER MINERALIZATION OF THE LOWER-TAIGA ORE CLUSTER (NORTHERN PRIMORYE)  Ivin V.V., Medvedev E.I., Fatyanov I.I.	76
HAZARDOUS HYDROGEOLOGICAL PHENOMENA IN A DEEP HIGHWAY CUTTING  Kvashuk S.V., Kulakov V.V., Gilmutdinov S.A.	82
HYDROCHEMICAL STATE OF WATER OF SOME LAKES IN THE LENO-AMGINSKY INTERFLUVE AND WATER SUPPLY PROBLEMS OF ITS RURAL POPULATION Konstantinov A.F., Nikolaeva N.A.	87
VOLCANOGENIC CREATIONS OF KANGALASSKY TERRACE (LEFT BANK OF THE LENA RIVER, CENTRAL YAKUTIA) Kostin A.V., Trunilina V.A.	

GEOSYSTEM MAPPING THE NATURAL ENVIRONMENTAL RISK FACTORS (AS EXEMPLIFIED BY THE NORTH ASIA REGIONS)  Kuznetsova T.I.	101
MINERAL COMPOSITION OF NATURAL GOLD-CONTAINING GARNET-MAGNETITE SCHLICH OF THE SOUTH-WESTERN COAST OF KAMCHATKA Kungurova V.E.	107
LABORATORY RESEARCHES OF THE STRENGTH OF ADFREEZED ROCKS ON SHEAR Maksimov M.S., Panishev S.V., Kozlov D.S.	114
INFLUENCE OF MINERAL WATERS OF THE PARATUNSKY HYDROTHERMAL DEPOSIT ON THE NUMBER AND GEOCHEMICAL ACTIVITY OF MICROORGANISMS OF A SULPHIDE PELOID Muradov S.V.	120
HYDROLOGICAL AND HYDROCHEMICAL CONDITION OF SMALL RIVERS IN THE ARCTIC ZONE OF YAKUTIA  Nogovitsyn D.D., Sheina Z.M., Sergeeva L.P., Potapova T.V.	126
THE INFLUENCE OF THE FOREST FIRES ON DEVELOPMENT OF GEOSYSTEMS OF THE FLAT INTERFLUVES OF THE SOUTH OF MIDDLE SIBERIA AND THE MOUNTAINS OF THE FAR EAST Skrylnik G.P.	
VARIETY AND SPATIAL STRUCTURE OF SOILS OF THE LAKE BAIKAL BASIN  Ubugunov L.L., Gyninova A.B., Belozertseva I.A., Ubugunov V.L.,  Dorzhgotov D., Sorokovoy A.A., Ubugunova V.I., Badmaev N.B.,  Balsanova L.D., Gonchikov B.N., Tsybikdorzhiev Ts.Ts.	142
THE POSSIBILITY OF USING SEQUENCE STRATIGRAPHIC METHOD TO BUILD GEOLOGICAL MODELS FOR THE RECONSTRUCTION OF EVOLUTION OF PETROLEUM BASIN Uvarov F.V.	152
ECOLOGICAL-CHEMICAL ANALYSIS OF RIVER WATER WATERCOURSES IN URBANIZED TERRITORIES ON THE CONTENT OF DETERGENTS Shishlova M.A.	
VANADIUM IN BERYL CRYSTALS OF DIFFERENT COLORS OF SHERLOVAYA GORA DEPOSIT (SOUTH-EASTERN TRANSBAIKALIA)  Yurgenson G.A., Borzenko A.A.	164
Scientific review	
Earth sciences	
CLIMATIC ASYMMETRY OF SLOPES RIVER VALLEYS  Kurzhanova A.A.	169

УДК 541.6:678.01:535

### ОСОБЕННОСТИ ФОТОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕРМИЧЕСКИХ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ПЛЕНОК

<sup>1</sup>Иваницкий А.Е., <sup>1</sup>Минич А.С., <sup>1</sup>Буценко Е.С., <sup>1</sup>Гизбрехт С.В., <sup>2</sup>Ивлев Г.А.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Томский государственный педагогический университет», Томск, e-mail: aleiv@tspu.edu.ru; <sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск

Современной промышленностью выпускается большое количество пленок для сельского хозяйства на основе полимерных материалов. Наиболее распространены полиэтиленовые пленки, которые модифицируют различными добавками, придающими определенные свойства (светостабилизацию, люминесценцию, теплоудерживание и т.п.). В статье рассмотрены свойства экспериментальных полиэтиленовых пленок с нанесенными на их поверхность методом магнетронного распыления слоя теплоудерживающих добавок толщиной в несколько микрон (термические пленки) в сравнении с традиционными светостабилизированными полиэтиленовыми пленками (контроль). Испытанные в условиях эксплуатации в защищенном грунте в весенне-осенний период 2013 г. пленки показали наличие теплоудерживающего эффекта в сравнении с контролем. При этом область пропускания электромагнитного излучения области фотосинтетически активной радиации (ФАР) составила для них от 62 до 70%, что соответствует современным требованиям для укрывных материалов при пропускании ФАР. Экспериментальные пленки также показали снижение пропускания УФ излучения солнца в сравнении с контролем в 1,5-2 раза. В результате проведенного испытания показано, что нанесенный слой термической добавки, вследствие инертности полиэтилена и низкой адгезии, смывается дождевой водой в течение 1-1,5 месяцев эксплуатации. Таким образом, термические свойства утрачиваются, и в дальнейшем свойства таких пленок становятся аналогичными контрольной пленке. Вместе с тем такие пленки можно рекомендовать к использованию в регионе с экстремальным земледелием в ранневесенний или позднеосенний периоды, что позволит снизить энергозатраты при выращивании растений в защищенном грунте.

Ключевые слова: термические полиэтиленовые пленки, оптические свойства, солнечная радиация, метод магнетронного распыления

### PECULIARITIES OF PHOTOPHYSICAL PROPERTIES OF THERMAL POLYETHYLENE FILMS

<sup>1</sup>Ivanitskiy A.E., <sup>1</sup>Minich A.S., <sup>1</sup>Butsenko E.S., <sup>1</sup>Gizbrekht S.V., <sup>2</sup>Ivlev G.A.

<sup>1</sup>Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, e-mail: aleiv@tspu.edu.ru; <sup>2</sup>Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk

Modern industry produces a large number of films for agriculture based on polymeric materials. The most common are polyethylene films, which are modified with various additives that impart certain properties (light stabilization, luminescence, heat retention, etc.). The article describes the experimental properties of polyethylene films with deposited on their surfaces by magnetron sputtering layer heat-retaining additives of a few microns thickness (thermal film) in comparison with the conventional light-stabilized polyethylene film (control). Tested under conditions of operation in protected ground in the spring-autumn period of 2013, the films showed the presence of a heat-retaining effect in comparison with the control. At the same time, the area of transmission of electromagnetic radiation of the region of photosynthetically active radiation (FAR) for them was from 62 to 70%, which corresponds to the current requirements for covering materials with the transmission of phased arrays. Experimental film also showed a decrease in transmittance of UV radiation from the sun compared to the control by 1.5-2 times. In consequence of the test shows that the applied layer of thermal additive due to inertia polyethylene and low adhesion is washed off by rainwater for 1-1.5 months of operation. Thus, the thermal properties of the films are lost, and subsequently the properties of such films become analogous to the control film. Despite the results obtained such films it can be recommended for use in the region with extreme agriculture in the early spring or late autumn periods, which will reduce energy costs when growing plants in sheltered soil.

Keywords: thermal polyethylene films, optical properties, solar radiation, magnetron sputtering method

В настоящее время предприятиями химической промышленности разрабатывается и выводится на рынок большое количество различных модифицированных укрывных полимерных материалов, предназначенных для тепличных хозяйств [1, 2]. Среди многообразия производимых материалов можно выделить полиэтиленовые пленки, модифицированные добавками, придающими теплоудерживающие свойства (ИК пленки, те-

плоудерживающие, теплоизоляционные). Такие пленки за счет их модификации пропускают меньше, чем 20% излучения в области 5–15 мкм по ГОСТ 10354-82 (по стандарту Евросоюза EN 13206 в области 7–13 мкм) [1–3]. Одним из распространенных способов модифицирования полимерных материалов является внесение различного рода добавок, в том числе и теплоудерживающих, в состав композиции на стадии смешения гранул ПЭВД

и дальнейшего формирования пленок методом экструзии с раздувом [1–5]. Вторым способом придания теплоудерживающих свойств является нанесение слоя добавки толщиной в несколько микрон на поверхность готовой полимерной пленки [6].

Уменьшение прозрачности пленок в ИК области спектра приводит к тому, что температура воздуха под такими пленками в ночное время внутри культивационных сооружений выше на 2–5 °С по сравнению с немодифицированной пленкой или открытым грунтом. Показано, что применение теплоудерживающих пленок в ранний весенний период способствует повышению продуктивности растений защищенного грунта на 8–18 % [7].

Однако одним из недостатков теплоудерживающих пленок является их пониженная проницаемость не только для ИК излучения, но и области фотосинтетически активной радиации (ФАР), что приводит к снижению продуктивности растений при оптимальных температурах окружающей среды.

В современной литературе крайне мало информации об исследовании оптических и теплоудерживающих свойств модифицированных полиэтиленовых пленок. Нами проведено исследование по определению оптических и теплоудерживающих свойств полиэтиленовых пленок с нанесенными на их поверхность методом магнетронного распыления тонких слоев частиц двух различных составов, а также их влияние на микроклимат внутри теплиц.

#### Материалы и методы исследования

Разработка модифицирующих составов двух типов на основе соединений меди состава  ${\rm TiO_2/Cu/TiO_2}$  (TF1) и серебра состава  ${\rm TiO_2/ZnO:Ga/Ag/ZnO:Ga/TiO_2}$  (TF2), их нанесение методом магнетронного распыления толщиной 60 нм на поверхность полиэтиленовых пленок проведено сотрудниками Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (г. Томск, РФ) аналогично описанному способу для пленок  $\Pi$ ЭТФ [6].

Спектры пропускания ИК излучения получены на ИК-Фурье спектрометре Nicolet 6700 (Thermo Scientific, USA) в диапазоне  $400-3000 \text{ см}^{-1}$  по стандартной методике.

Спектры пропускания, отражения и рассеивания пленками электромагнитного излучения УФ, видимой области и интегральное светопропускание получены на спектрофотометре Shimadzu UV 2600

с интегрирующей сферой ISR-2600 Plus (Shimadzu, Япония).

Тестирование полученных пленок проводили в весенне-осенний период 2013 г. на базе агробиологической станции ТГПУ на туннельных теплицах размером 3,0х6,0 м, высотой 2,7 м. Контролем служила теплица, укрытая светостабилизированной пленкой ПЭВД толщиной 120 мкм, на базе которой были изготовлены термические пленки ТF1 и TF2 [8].

Нагрев внутри теплиц достигался естественным путем, посредством солнечного света без дополнительного отопления.

Температуру воздуха и почвы в каждой теплице измеряли регистрирующим устройством в автоматическом режиме с помощью датчиков температуры DS18S20 (Maxim integrated, USA). Температуру почвы определяли как среднее значение температур от верхнего слоя до 3 см в глубину.

Среднесуточные данные внешней температуры и облачности взяты с сайта гидрометеостанции г. Томска [9].

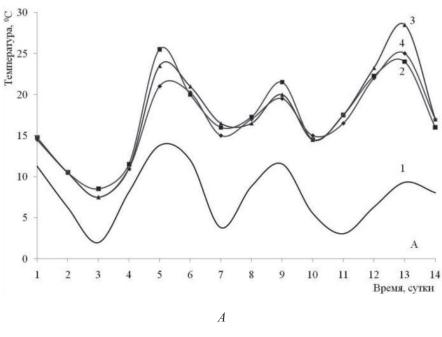
Данные по измерению солнечной радиации в период проведения исследования представлены Лабораторией климатологии атмосферного состава Института оптики атмосферы СО РАН (г. Томск) (на основе данных ТОR станции).

### Результаты исследования и их обсуждение

Основной задачей использования термических полиэтиленовых пленок в качестве укрывного материала является способность поддерживать под ними комфортные условия для роста и развития растений. Такие пленки должны не только обеспечивать выравнивание дневных и ночных температур за счет пропускания и отражения ИК излучения, но и не препятствовать пропусканию ФАР (380–710 нм) внутрь теплиц.

Эксперимент проведен нами в период с 23 мая по 3 октября 2013 г. В первые две недели проведения эксперимента среднедневная температура окружающего воздуха составляла от +3 до +12 °C. Температура воздуха и почвы внутри экспериментальных и контрольной теплиц была выше на 4–17 °C, чем в окружающей среде (рис. 1).

В дневное время при понижении температуры окружающего воздуха значения температуры внутри экспериментальных теплиц ТF1 и TF2, остаются выше на 1,5–2°С, чем в контроле, что связано с обратным отражением ИК излучения от поверхности пленок в теплицу.



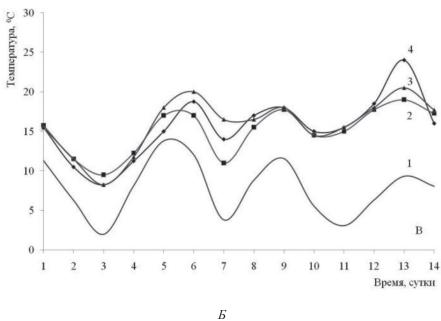


Рис. 1. Среднедневная температура в первые две недели эксперимента (с 23 мая по 5 июня 2013 г.): A- воздуха, B- почвы. Номерам на графике соответствуют: I- внешняя температура, 2- температура в теплице с покрытием TF1, 3- температура в теплице с покрытием TF2, 4- температура в контрольной теплице ( $\Pi$ ЭВД)

Первые 9 суток температура почвы в экспериментальной теплице TF2 выше, чем в контрольной, в среднем на 1,5-2,5 °C и на 2,5-5 °C экспериментальной теплице TF1.

В период с 9 по 12 сутки эксперимента среднедневная температура почвы во всех теплицах выровнялась, что связано с понижением температуры окружающего воз-

духа. На 13 сутки температура почвы в контрольной теплице стала на 3–7 °C выше, чем в экспериментальных теплицах (TF2 и TF1), и практически сравнялась с температурой воздуха внутри теплицы, что связано с большей прозрачностью контрольной пленки и началу активизации биологических процессов в почве.

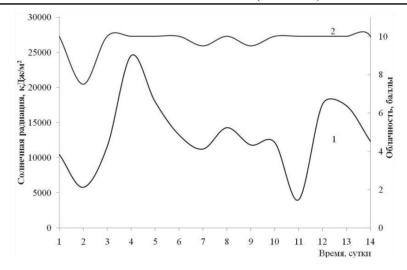
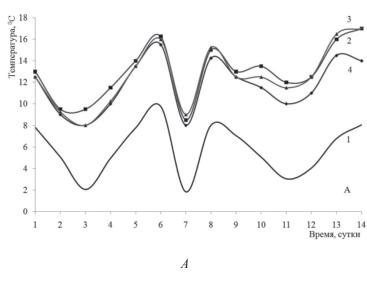


Рис. 2. График солнечной радиации (1) и облачности (2)



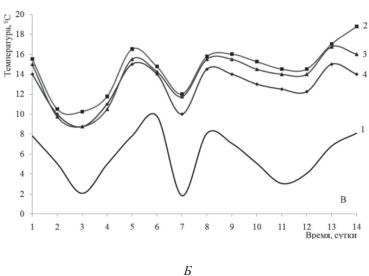
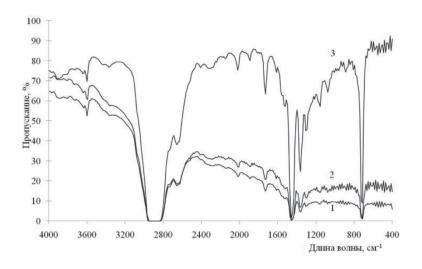


Рис. 3. Средненочная температура: A – воздуха, B – почвы. Номерам на графике соответствуют: B – внешняя температура, B – температура в теплице с покрытием B – температура в контрольной теплице

В период проведения эксперимента были получены данные по солнечной радиации и облачности (рис. 2). Первые 14 суток характеризуются умеренной интенсивностью солнечной радиации с пиком на 4 сутки и высокой облачностью в 9–10 баллов (2–14 сутки). Температура внутри теплиц связана одновременно с солнечной радиацией и облачностью, так, например, максимум солнечной активности и 10 баллов облачности на 4 сутки соответствует росту значения температуры во всех теплицах и ее максимуму на 5 сутки вследствие аккумулирующего действия теплиц.

В ночные периоды температура в экспериментальных теплицах на  $1-2\,^{\circ}$  выше, чем в контрольной, вследствие удержания ИК излучения от почвы (рис. 3). При этом температура почвы в теплицах выше, чем температура воздуха, что связано с более длительным ее остыванием.

Для определения оптических свойств пленок были получены спектры пропускания электромагнитного излучения различных областей спектра: УФ, видимого и ИК диапазонов как со стороны нанесения модифицирующего покрытия (внешний слой), так и с обратной стороны (внутренний слой).



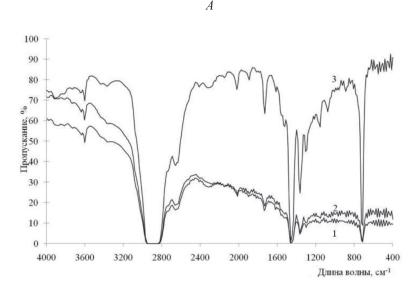
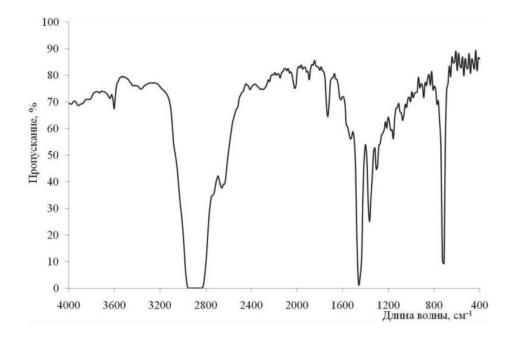


Рис. 4. Спектры пропускания ИК излучения пленками на начало эксперимента (A- наружный слой с нанесенным покрытием, B- внутренний слой пленки):  $1-TF1;\ 2-TF2;\ 3-$  контроль (пленка ПЭВД)

Б

Область (нм)	Пропускание,%							
	Контрольная пленка (ПЭВД)	Пленка TF1	Пленка TF2					
290–315 (УФ-В)	$77,6 \pm 3,20$	$28,3 \pm 2,51$	$59,0 \pm 4,94$					
315-400 (УФ-А)	$84,5 \pm 1,85$	$43,4 \pm 5,75$	$61,2 \pm 2,50$					
380–710 (ФАР)	$89.0 \pm 1.03$	$62.0 \pm 7.26$	$69.8 \pm 3.07$					

### Интегральное светопропускание пленок по областям



Puc. 5. Спектр пропускания ИК излучения экспериментальными пленками TF1 и TF2 на конец эксперимента

Полученные спектры пропускания ИК излучения пленками представлены на рис. 4. Данные по значениям интегрального пропускания УФ и ФАР области сведены в таблицу. Контрольная полиэтиленовая пленка (3, рис. 4) во всем измеренном диапазоне имеет близкие значения пропускания излучения для ИК-A (81,1  $\pm$  1,6) и ИК-В  $(80.5 \pm 6.0)$  областей как для внутреннего, так и для внешнего слоя, то есть пленка обладает высокой прозрачностью. Также контрольная пленка обладает высокой проницаемостью в области УФ-А, УФ-В излучения и ФАР (таблица). Экспериментальные пленки за счет нанесенного слоя ИК добавки имеют меньшую проницаемость для тех же областей ИК излучения относительно контроля. Так, для пропускания излучения со стороны нанесения добавки области ИК-А меньше в 2,2 раз (TF1), 6,6 раз (TF2), для ИК-В в 1,95 раз (TF1), 5,5 раз (TF2), то есть внешний слой таких пленок отражает ИК излучение солнца. Однако пропускание ИК излучения внутренним слоем пленок на 2–4% меньше, чем пропускание со стороны нанесенной добавки, что говорит об эффекте отражения (экранирования) пленкой прошедшего ИК излучения внутрь теплицы.

Для экспериментальных пленок также наблюдается снижение пропускания УФ излучения А и В областей относительно контрольной пленки в 2 раза (TF1), в 1,3 раза (TF2). Также величины пропускания такими пленками ФАР соответствуют значениям, предъявляемым к пленкам сельскохозяйственного назначения.

Таким образом, нанесенные модифицирующие добавки обладают способностью не только пропускать ИК излучение внутрь теплицы, но и частично его там удерживать за счет внутреннего отражения от поверхности пленок. При этом модифицирующие добавки не препятствуют пропусканию достаточного количества излучения области ФАР, что делает такие

пленки пригодными для использования в качестве укрывного материала для сооружений защищенного грунта при выращивании под ними растений.

В конце первого месяца проведения исследования нами обнаружено разрушение слоя нанесенных модифицирующих добавок под действием влаги (дождь, роса). Вследствие низкой адгезии и инертности носителя (полиэтилен) слой добавок вымывался с поверхности пленки, при этом изменяя оптические и теплоудерживающие свойства экспериментальных пленок. На конец эксперимента (октябрь месяц) спектр пропускания ИК излучения экспериментальных пленок стал аналогичным спектру контрольной пленки (рис. 5).

Таким образом, модифицирование полиэтиленовых пленок методом магнетронного распыления металлосодержащими добавками придает теплоудерживающие свойства и экранирование ИК излучения на срок не более одного сельскохозяйственного сезона [8].

#### Заключение

В результате проведенного исследования в условиях эксплуатации полимерных материалов, модифицированных методом магнетронного распыления, установлены значения оптических и теплоудерживающих свойств. Показано, что к концу эксперимента значения таких свойств испытуемых материалов, а также спектральные характеристики и внешний вид приблизились к значениям контрольной пленки (ПЭВД) вследствие естественного удаления нанесенных покрытий, что связано с низкой адгезией добавок и инертностью основы (полиэтиленовой пленки).

Таким образом, срок эксплуатации исследуемых модифицированных пленок не превышает одного сельскохозяйственного сезона.

Вместе с тем такие пленки на начальном этапе при выращивании под ними растений оказывают положительный эффект на их рост и развитие. Такие пленки можно рекомендовать к использованию в регионе с экстремальным земледелием в ранневесенний или позднеосенний периоды, что позволит снизить энергозатраты при выращивании растений в защищенном грунте.

### Список литературы

1. Max J.F.J., Schurr U., Tantau H.J., Mutwiwa U.N., Hofmann T., Ulbrich A. Greenhouse Cover Technology // Horticultural Reviews. – 2012. – Vol. 40. № 1. – P. 259–396. DOI: 10.1002/9781118351871.ch7.

- 2. Brown R.P. Polymers in agriculture and horticulture // Rapra Review Reports. 2004. Vol. 15. № 2. P. 1–92.
- 3. Van Aken L.A.C.M. Evaluation of Infra-Red thermal additives for greenhouse film // Acta Hortic. 2014. Vol. 1015. P. 209–216. DOI: 10.17660/ActaHortic.2014.1015.23.
- 4. Semida W., Hadley P., Sobeih W., El-Sawah N., Barakat M. The influence of thermic plastic films on vegetative and reproductive growth of iceberg lettuce «Dublin» // International Journal of Agricultural, Biosystems Science and Engineering. 2013. Vol. 7. P. 129–134.
- 5. Mutwiwa U.N., Tantau H.J., Murunga S.I., Elsner B., Max J.F.J. Effects of a near infrared-reflecting greenhouse roof cover on microclimate and production of tomato in the tropics // Agricultural Engineering International: CIGR Journal. 2017. Vol. 19. № 3. P. 70–79.
- 6. Zakharov A.N., Kovsharov N.F., Oskomov K.V., Rabotkin S.V., Solovyev A.A., Sochugov N.S. Properties of low-emission coatings based on Ag and Cu deposited on polymer film by magnetron sputtering // Inorganic Materials: Applied Research. − 2012. − Vol. 3. № 5. − P. 433–439.
- 7. Magnani G., Nesti E. Valutazione agronomicadei «film termici» di polietileneimpiegatisuortive in colturaprotetta // Colt. Prot. 1986. Vol. 7. P. 57–66.
- 8. Minich A.S., Minich I.B., Chursina N.L., Ivanitckiy A.E., Butsenko E.S., Rozhdestvenskiy E.A. Morphogenesis and productivity of Cucumis sativus L. hybrids under the thermic polyethylene films modified by coating of metals by magnetron sputtering // Hort. Sci. 2016. Vol. 43. N 2. P. 59-66.
- 9. ООО «Расписание погоды», архив данных гидрометеостанции. URL: https://rp5.ru/Архив\_погоды\_в\_Томске (дата обращения: 20.03.2018).

#### References

- 1. Max J.F.J., Schurr U., Tantau H.-J., Mutwiwa U.N., Hofmann T., Ulbrich A. Greenhouse Cover Technology. Horticultural Reviews, 2012, vol. 1, no. 40, pp. 259–396. DOI: 10.1002/9781118351871.ch7.
- 2. Brown R.P. Polymers in agriculture and horticulture. Rapra Review Reports, 2004, vol. 2, no. 15, pp. 1–92.
- 3. Van Aken L.A.C.M. Evaluation of Infra-Red thermal additives for greenhouse film. Acta Hortic., 2014, no. 1015, pp. 209-216. DOI: 10.17660/ActaHortic.2014.1015.23.
- 4. Semida W., Hadley P., Sobeih W., El-Sawah N., Barakat M. The influence of thermic plastic films on vegetative and reproductive growth of iceberg lettuce «Dublin». International Journal of Agricultural, Biosystems Science and Engineering, 2013, no. 7, pp. 129–134.
- 5. Mutwiwa U.N., Tantau H.J., Murunga S.I., Elsner B., Max J.F.J. Effects of a near infrared-reflecting greenhouse roof cover on microclimate and production of tomato in the tropics. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 2017, vol. 3, no. 19, pp. 70–79.
- 6. Zakharov A.N., Kovsharov N.F., Oskomov K.V., Rabotkin S.V., Solovyev A.A., Sochugov N.S. Properties of low-emission coatings based on Ag and Cu deposited on polymer film by magnetron sputtering. Inorganic Materials: Applied Research, 2012, vol. 5, no. 3, pp. 433–439.
- 7. Magnani G., Nesti E. Valutazione agronomicadei «film termici» di polietileneimpiegatisuortive in colturaprotetta. Colt. Prot., 1986, no. 7, pp. 55–66.
- 8. Minich A.S., Minich I.B., Chursina N.L., Ivanitckiy A.E., Butsenko E.S., Rozhdestvenskiy E.A. Morphogenesis and productivity of Cucumis sativus L. hybrids under the thermic polyethylene films modified by coating of metals by magnetron sputtering. Horticultural Science, 2016, vol. 2, no. 43, pp. 59–66.
- 9. Veb OOO «Raspisanie pogody», arkhiv dannykh gidrometeostantsii [LLC «Weather schedule», data archive of hydrometeorological station]. Available at: https://rp5.ru/Архив\_погоды\_в\_Томске (accessed 20.03.2018).

УДК 547.772.1:543-1

# О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФЕНИЛАРИЛАМИНО-4-АНТИПИРИЛМЕТАНОВ В КАЧЕСТВЕ МАСКИРУЮЩИХ АГЕНТОВ

Летунов В.И., Лимберова В.В., Салогуб Е.В., Кузнецова Н.С., Федоров И.А., Бочарников Ф.Н., Пузынин Д.В., Иванова Т.В.

ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», Чита, e-mail: kns2702@yandex.ru

Впервые изучена возможность применения в химическом анализе комплексообразователей органической природы в виде коллоидных растворов, которые предоставляют для взаимодействия большие поверхности. Исследования проводили на примере ранее синтезированного соединения со свойствами аналитических экстракционных реагентов из группы фенил-2-метоксифениламино-4-антипирилметана (ФМААМ), преимуществом которых является относительная легкость синтеза и высокая реакционная способность. На основании УФ-спектров хлороформных экстрактов установлены катионы металлов, с которыми реагент образует комплексы. Соединение может применяться в двух вариантах: в одном случае как высокоизбирательный реагент, во втором - как эффективное маскирующее средство. Показана возможность применения комплексообразователей не только в виде раствора, но и в виде дисперсий (низкая растворимость ФМААМ в воде позволяет получить его коллоидный раствор путем замены растворителя в диметилформамиде). При этом комплексообразователи сохраняют свою избирательность и могут применяться для устранения мешающего влияния посторонних ионов при аналитических определениях. Изучение маскирующего действия ФМААМ установлено на примере осаждения меди из смеси солей меди и кадмия из нитратной среды (комплексообразование с Cu происходит, с Cd нет). Применение комплексообразователей в виде коллоидных растворов может быть более удобным, так как, например, при использовании для устранения мешающего влияния посторонних элементов упрощает выполнение этой процедуры, позволяет избежать применения не всегда безопасных растворителей, что особенно приветствуется «зелёной химией». Возможность практического применения маскирующего действия реагента проверили на примере определения марганца в присутствии других катионов.

Ключевые слова: фенил-2-метоксифениламино-4-антипирилметан, комплексообразователь, ионы металлов, коллоидный раствор, твердая фаза, избирательность, маскирующее действие

### ON THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF PHENYLARYLAMINO-4-ANTIPIRYLMETHANES AS MASKING AGENTS

Letunov V.I., Limberova V.V., Salogub E.V., Kuznetsova N.S., Fedorov I.A., Bocharnikov F.N., Puzynin D.V., Ivanova T.V.

Transbaikal State University, Chita, e-mail: kns2702@yandex.ru

The possibility of using organic complexing agents in the form of colloidal solutions, which provide large surfaces for interaction, has been studied for the first time in chemical analysis. The studies were carried out using the example of a previously synthesized compound with the properties of analytical extraction reagents from the group of phenyl-2-methoxyphenylamino-4-antipyrylmethane (FMAAM), the advantage of which is the relative ease of synthesis and high reactivity. Based on the UV spectra of chloroform extracts, metal cations are established with which the reagent forms complexes. The compound can be used in two versions: in one case as a highly selective reagent, in the second as an effective masking agent. The possibility of using complexing agents not only in the form of a solution but also in the form of dispersions is shown (the low solubility of FMAAM in water makes it possible to obtain its colloidal solution by replacing the solvent in dimethylformamide). In this case, the complexing agents retain their selectivity and can be used to eliminate the interfering effect of foreign ions in analytical determinations. The study of the masking action of the ferrofluoromethane is established by the example of the deposition of copper from a mixture of copper and cadmium salts from a nitrate medium (complexation with Cu occurs, with Cd no). The use of complexing agents in the form of colloidal solutions can be more convenient, since, for example, when used to eliminate the interfering effect of foreign elements, it simplifies the procedure, avoids the use of not always safe solvents, which is especially welcomed by «green chemistry». The possibility of practical application of the masking action of the reagent was tested using the example of manganese determination in the presence of other cations.

Keywords: phenylarylamino-4-antipyrylmethanes, complexant, metal ions, colloidal solution, solid phase, selectivity, masking action

Благодаря способности к донорно-акцепторному взаимодействию с катионами металлов и такому ценному качеству, как высокая избирательность, комплексообразователи нашли широкое применение в качестве фотометрических, экстракционных, маскирующих, люминесцентных аналитических реагентов. Реагенты в большинстве

случаев используются в виде растворов, и сами анализы осуществляются практически всегда в жидкой фазе. Но, если применять комплексообразователь или иной сорбент в виде твёрдой фазы, как показывает пример ионитов и сорбентов типа окисленных углей [1], хемосорбция также возможна и на твердой поверхности, по-видимому,

за счёт того, что в межфазное пространство выходят активные группы сорбента, которые связывают поступающие туда же из жидкой фазы ионы.

В аналитической химии находят все более широкое применение многочисленные производные пиразолона. Они легко синтезируются и обладают высокой реакционной способностью. Введение гетероциклического радикала в молекулы красителей обусловливает устойчивость реагентов в кислых средах, прочность образуемых соединений, высокую реакционную способность реагентов. Интенсивно окрашенные реагенты успешно используются для определения ряда элементов, образующих ацидокомплексные анионы, которые не обладают хромофорным действием. Способность антипирина и его производных к реакциям комплексообразования и экстракции ионов металлов в органические растворители описана в работах российских ученых М.И. Дегтева [2], В.П. Живописцева [3], О.Б. Логиновой, С.В. Темерева [4], Б.И. Петрова [5] и иностранных авторов [6, 7].

**Цель исследования** — изучение свойств производных антипирилметана как избирательных комплексообразователей и возможности их применения в виде твёрдой фазы.

### Материалы и методы исследования

Исследования проводили на примере синтезированного соединения из группы арилариламино-4-антипирилметанов-фенил-2-метоксифениламино-4-антипирилметана (ФМААМ) [8], прекурсорами которых явля-

лись: бензальдегид, орто-анизидин и антипирин. Структура вещества подтверждена спектральными методами анализа (ИКспектры снимались на ИК-Фурье спектрофотометре Shimadzu FTIR-8400S, УФспектры – на спектрофотометре СФ-2000). Ход реакции и чистоту соединений контролировали методами тонкослойной хроматографии на пластинах Silufol в системе этилацетат-толуол, пятна детектировали в ультрафиолетовом свете. Элементный анализ выполняли на атомно-абсорбционном спектрометре с пламенной атомизацией Shimadzu AA 6200.

### Результаты исследования и их обсуждение

Формула полученного фенил-2-метоксифениламино-4-антипирилметана приведена на рис. 1.

Рис. 1. Структурная формула ФМААМ

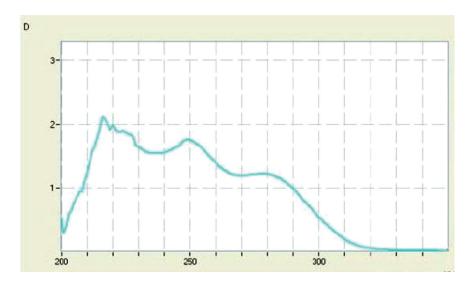


Рис. 2. УФ-спектр ФМААМ

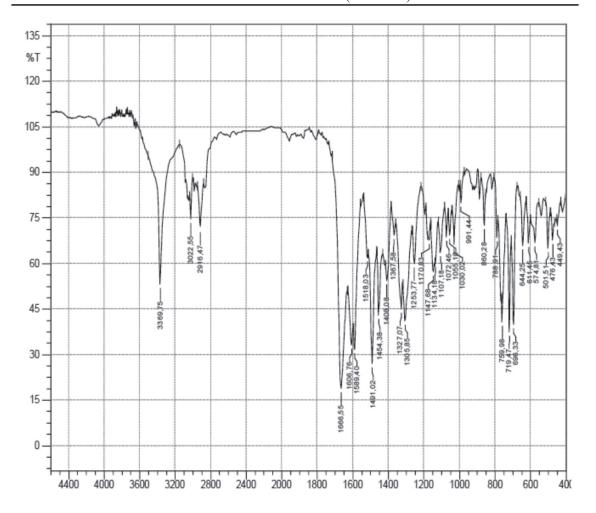


Рис. 3. ИК-спектр ФМААМ

0.05 моль шиффова основания (N-бензилиден-*м*-толуидину) добавили 0,05 моль антипирина, растворяли в 30 мл изопропанола при нагревании, далее раствор охлаждали и при достижении комнатной температуры приливали 0,2 мл концентрированной НСІ. Затем полученную смесь оставили на сутки для выпадения осадка, избегая воздействия прямых солнечных лучей. Для нейтрализации прибавленной ранее кислоты прибавляли водный раствор аммиака и осадок отфильтровывали. Далее осуществляли двойную перекристаллизацию в изопропаноле для очистки вещества от примесей.

Полученный ФМААМ представляет собой кристаллическое вещество белого цвета с  $\eta = 72,4\%$  и  $T_{nn} = 220\,^{\circ}\text{C}$ . На рис. 2 представлен его УФ-спектр.

ИК-спектр (рис. 3) содержит полосы, подтверждающие наличие в молекуле в соответствии с предполагаемой формулой полученного соединения вторичной аминогруп-

пы при 3369,75 см<sup>-1</sup> и карбонильной группы антипирильного радикала при 1666,65 см<sup>-1</sup>.

Константа распределения фенил-2-метоксифениламино-4-антипирилметана в системе хлороформ — вода К = 153. Высокое значение константы показывает, что хлороформные растворы этого соединения должны обладать высокой экстракционной способностью. Протонированная форма соединения, в отличие от комплексов, слабо поглощает в области выше 320 нм, что свидетельствует о возможности его применения в качестве фотометрического реагента (рис. 4).

Свойства ФМААМ как экстракционного аналитического реагента были изучены ранее на примере экстракции катионов Hg<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Bi<sup>3+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Pt<sup>4+</sup> [5, 8] из Cl<sup>-</sup>, Br, I, HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, SCN<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, ClO<sub>4</sub><sup>-</sup>, CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>, CCl<sub>3</sub>COO<sup>-</sup> систем [9, 10]. На основании УФ спектров хлороформных экстрактов установлены катионы металлов, с которыми реагенты образуют ком-

плексы. Наиболее интересными оказались йодидная, трихлорацетатная и гидрофосфатная системы. Из перечисленных катионов из йодидной среды извлекаются все кроме  $\mathrm{Mn^{2+}}$ , из трихлорацетатной извлекается только  $\mathrm{Hg^{2+}}$ , гидрофосфатной только  $\mathrm{Bi^{3+}}$ .

Эти факты свидетельствуют о том, что соединение может применяться в двух вариантах: в одном случае как высокоизбирательный реагент (из трихлорацетатной среды из 10 катионов извлекается только 1), во втором – как эффективное маскирующее средство (из йодидной среды извлекаются все кроме одного). При этом для того, чтобы приблизить эффективность производных антипирилметана к показателям, демонстрируемым в случаях, когда они применяются в виде растворов, использовать их целесообразнее в виде коллоидных систем, которые предоставляют для взаимодействия большие поверхности.

Для изучения возможности применения комплексообразователя в виде твёрдой фазы методом замены растворителя готовили дисперсии реагента в воде. Для этого ФМААМ растворяли в диметилформамиде (ДМФА), полученный раствор вливали в дистиллированную воду. Варьируя объёмы, готовили растворы разной степени дисперсности. Возможность сорбции катионов металлов из водной фазы коллоидными частицами изучали на примере сорбции ионов меди из водных растворов этими дисперсиями. Для этого в пробирку помещали 1 мл водного раствора соли меди концентрации 0,01 н, для создания соответствующей среды прилива-

ли 1 мл 0,3 н раствора йодида калия и 1 мл 0,03 н раствора HCl. К полученному раствору добавляли 0,5 мл 0,03 М раствора ФМА-АМ в ДМФА. Образовавшуюся коллоидную систему подвергали 10-минутному центрифугированию при скорости 15 тыс. об/мин. Добавленный реагент выпал в осадок. Центрифугат сливали и обнаруживали ионы меди добавлением водного раствора аммиака. Образования синей окраски не наблюдали. На основании этого полагали, что все ионы меди были осаждены на поверхность коллоидных частиц, водная фаза была от них освобождена. коллоидными растворами.

Для контроля параллельно поставили 2 опыта: в одном случае раствор иодида калия заменили раствором нитрата калия. Во втором случае вместо этого раствора прилили такой же объём воды. После отделения центрифугата и добавления водного раствора аммиака наблюдали ярко-синее окрашивание, т.е. медь присутствовала, её связывания не произошло. Точно так же происходило и при экстракции меди хлороформным раствором этого соединения.

Изучение маскирующего действия ФМААМ установили на примере осаждения меди из смеси солей меди и кадмия из нитратной среды (в этом случае комплексообразование с медью происходит, с кадмием нет). После описанных выше операций медь не обнаруживалась, а остаточное присутствие кадмия было установлено образованием жёлтого осадка сульфида кадмия при добавлении к центрифугату сероводородной воды.

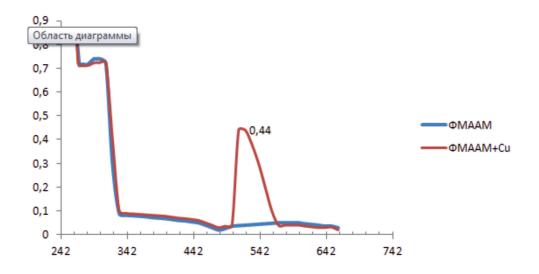


Рис. 4. Спектры чистого ФМААМ в хлороформе и с катионами меди

Значения длин волн максимумов поглощения ( $\lambda_{max}$ , нм) и оптическая плотность (A) в УФ-спектрах поглощения экстрактов комплексов ФМААМ с катионами металлов из различных сред при концентрации реагента  $10^{-4}$  моль/л

Ионы	I-	Br	NO <sub>3</sub>	ClO <sub>4</sub>	Cl-	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HPO <sub>4</sub> 2-	CH <sub>3</sub> COO-	CCl <sub>3</sub> COO-	SCN-
Hg <sup>2+</sup>	330 0,72	550 0,08	_	550 0,052	_	_	_	_	550 0,084	_
Cd <sup>2+</sup>	365 0,66	-	ı	_	285 0,08	_	_	ı	-	_
Bi <sup>3+</sup>	380 0,15	_	_	380 0,68	_	_	380 0,077	380 0,09	-	_
Mg <sup>2+</sup>	345 0,377	-	ı	_	ı	_	_	ı	-	560 0,024
Sr <sup>2+</sup>	365 0,383	550 0,08	_	_	_	_	_	-	-	_
Ca <sup>2+</sup>	350 0,391	_	_	_	_	_	_	_	_	560 0,131
Cu <sup>2+</sup>	510 0,44	_	320 0,17	_	-	_	_	-	-	_
Pb <sup>2+</sup>	550 0,115	540 0,095	_	_	_	560 0,01	_	_	_	560 0,0113
Mn <sup>2+</sup>	_	1	320 0,13	_	-	_	_	ı	_	_
Pt <sup>4+</sup>	360 0,45 540 0,107	560 0,117	560 0,08	545 0,094	570 0,051	565 0,04	_	560 0,15	_	550 0,12

На основании описанных экспериментов полагали, что ФМААМ сохраняет свою достаточно высокую избирательность при применении в виде твердой фазы в высокодисперсном (коллоидном) состоянии. При этом применение комплексообразователей в виде коллоидных растворов может быть более удобным, так как, например, при использовании для устранения мешающего влияния посторонних элементов упрощает выполнение этой процедуры, позволяет избежать применения не всегда безопасных растворителей, что особенно приветствуется «зелёной химией» [5].

Как видно из приведенных в таблице данных, соединение является достаточно высокоизбирательным комплексообразователем.

Чтобы убедиться в том, что комплексообразование происходило на поверхности твердого комплексообразователя и связанный ион оставался на твердой фазе, осуществили десорбцию меди с поверхности отделённого центрифугированием осадка смешиванием его с 0,1 н раствором сульфата натрия (в сульфатной среде реагенты комплексов с катионом меди не дают) с последующим добавлением водного аммиака. Если бы ионы меди оставались на твердой фазе, после их десорбции мы бы наблюдали образование синего аммиаката

меди. Но этого не происходило, т.е. ионы меди отсутствовали.

Во втором варианте отделённый центрифугированием осадок подвергали мокрому сжиганию и в продуктах сжигания пытались обнаружить ионы меди. Они отсутствовали. Это свидетельствует о том, что имела место не адсорбция ионов меди на поверхности твердой фазы, а либо выход комплексообразователя в жидкую фазу с последующим комплексообразованием, либо комплексообразование на поверхности с последующим выходом образующихся комплексов в жидкую фазу. To есть в конечном варианте имело место маскирующее действие комплексообразователя. Возможность практического применения маскирующего действия реагента проверили на примере определения марганца в присутствии других катионов. Для этого брали раствор, содержащий все вышеперечисленные катионы и иодид натрия. Его подкисляли и вносили суспензию реагента. Твердую часть отделяли центрифугированием, к центрифугату добавляли раствор нитрата серебра для осаждения иодид-ионов, образовавшийся осадок отделяли фильтрованием, получали прозрачный бесцветный раствор. К нему добавляли окислитель (персульфат аммония),

получали розовый раствор перманганата. То есть, таким образом можно определять марганец фотометрическим методом.

#### Заключение

Таким образом, изученный фенил-2-метоксифениламино-4-антипирилметан, являясь эффективным комплексообразователем, может применяться как маскирующий агент в виде твердой взвеси или коллоидного раствора. Данный класс соединений обладает свойствами аналитических экстракционных реагентов с достаточно высокой избирательностью, что дает возможность поиска более совершенных и расширения ассортимента применяемых реактивов подобного назначения.

### Список литературы

- 1. Адсорбция пиридина из водных растворов на окисленном озоном активном угле / Т.А. Краснова [и др.] // Материалы III Всероссийской научно-практической конференции «Химия и химическая технология на рубеже тысячелетий». Томск, 2004. С. 188–189.
- 2. Дегтев М.И. Физико-химические свойства антипирина и его производных: монография / М.И. Дегтев, Е.Н. Аликина. Пермский госуниверситет, 2009.-174 с.
- 3. Живописцев В.П. Комплексные соединения реагентов группы диантипирилметана: обзор / В.П. Живописцев, Б.И. Петров // Ученые записки Пермского ун-та. Пермь: Пермский ун-т, 1976. № 324. С. 12—30.
- 4. Логинова О.Б. Особенности извлечения ионов меди, свинца, кадмия и цинка из водных растворов производными пиразолона с последующим определением инструментальными методами / О.Б. Логинова, С.В. Темерев // Известия АлтГУ. 2012. № 3. С. 132–137.
- 5. Петров Б.И. Диантипирилметаны как экстракционные реагенты / Б.И. Петров // Журнал аналитической химии. 1983. Т. 38. № 11. С. 2051—2077.
- 6. El-Bindary A.A., El-Sonbati A.Z., Diab M.A., Abd El-Kader M.K. Potentiometric and thermodynamic studies of some schiff-base derivatives of 4-aminoantipyrine and their metal complexes // Journal of Chemistry. 2013. V. 2013. 6 p.
- 7. Khushbu K. Mehta, Asha D. Patel synthesis, characterization, biological and chelating properties of new antipyrine derived azo dyes and its transition metal complexes // Acta Chim. Pharm. Indica. -2016. № 6(1). P. 26-31.
- 8. Летунов В.И. Фенилариламино-4-антипирилметаны как аналитические реагенты / В.И. Летунов, Ф.Н. Бочарников, А.С. Лозовская // Учёные записки ЗабГГПУ. 2011. № 1(36). С. 146—151.
- 9. Новое применение комплексообразователей / В.И. Летунов [и др.] // Аспирант. Приложение к журналу Вестник ЗабГУ. 2014. № 2(16). С. 175–180.

10. Изучение кинетики реакции шиффовых оснований с антипирином / В.И. Летунов [и др.] // Путь науки. — 2015. — № 5(15). — С. 20—23.

#### References

- 1. Krasnova T.A. Adsorbtsiia piridina iz vodnykh rastvorov na okislennom ozonom aktivnom ugle [Adsorption of pyridine from aqueous solutions on ozone-oxidized active carbon]. Materialy III Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Khimiia i khimicheskaia tekhnologiia na rubezhe tysiacheletii» (g. 2004, 2-4 sentiabra 2004 g.) [Proceedings of Proceedings of the III All-Russian Scientific and Practical Conference «Chemistry and Chemical Technology at the Turn of the Millennium» (Tomsk, September 2–4, 2004)], Tomsk, Tomskii politekhnicheskii universitet, 2004, pp. 188–189.
- 2. Degtev M.I., Alikina E.N. Fiziko-khimicheskie svoistva antipirina i ego proizvodnykh [Physicochemical properties of antipyrine and its derivatives]. Perm, Permskii gosudarstvennyi universitet, 2009, 174.
- 3. Zhivopistsev V.P., Petrov B.I. Complex compounds of reagents of the group of diantipyrylmethane [Kompleksnye soedineniia reagentov gruppy diantipirilmetana]. Uchenye zapiski Permskogo universiteta Scientific notes of Perm University, 1976, no. 324, pp. 12–30.
- 4. Loginova O.B., Temerev S.V. Peculiarities of extraction of copper, lead, cadmium and zinc ions from aqueous solutions by pyrazolone derivatives with the following determination by instrumental methods [Osobennosti izvlecheniia ionov medi, svintsa, kadmiia i tsinka iz vodnykh rastvorov proizvodnymi pirazolona c posleduiushchim opredeleniem instrumental'nymi metodami]. Izvestiia Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta Proceedings of the Altai State University, 2012, no. 3, pp. 132–137.
- 5. Petrov B.I. Diantypyrilmethanes as extraction reagents [Diantipirilmetany kak ekstraktsionnye reagenty]. Zhurnal analiticheskoi khimii Journal of Analytical Chemistry, 1983, vol. 38, no. 11, pp. 2051–2077.
- 6. El-Bindary A.A., El-Sonbati A.Z., Diab M.A., Abd El-Kader M.K. Potentiometric and thermodynamic studies of some schiff-base derivatives of 4-aminoantipyrine and their metal complexes. Journal of Chemistry, 2013, no. 2013, pp. 6.
- 7. Khushbu K. Mehta, Asha D. Patel synthesis, characterization, biological and chelating properties of new antipyrine derived azo dyes and its transition metal complexes. Acta Chim. Pharm. Indica., 2016, vol. 1, no. 6, pp. 26–31.
- 8. Letunov V.I., Bocharnikov F.N., Lozovskaia A.S. Phenylarylamino-4-antipyrilmethanes as analytical reagents [Fenilarilamino-4-antipirilmetany kak analiticheskie reagenty]. Uchenye zapiski Zabaikal'skogo gosudarstvennogo gumanitarnogo pedagogicheskogo universiteta Scientific notes of Transbaikal State Humanitarian Pedagogical University, 2011, no. 1, pp. 146–151.
- 9. Letunov V.I. New application of complexing agents [Novoe primenenie kompleksoobrazovatelei]. Aspirant. Prilozhenie k zhurnalu Vestnik Zabaikal'skogo gosudarstvennogo universiteta Graduate student. Appendix to the journal Vestnik of Transbaikalian State University, 2014, no. 2, pp. 175–180.
- 10. Letunov V.I. Study of the kinetics of the reaction of Schiff bases with an antipyrine [Izuchenie kinetiki reaktsii shiffovykh osnovanii s antipirinom]. Put' nauki The Way of Science, 2015, vol. 5, no. 15, pp. 20–23.

УДК 630\*164.7:581.15:582.52(470.67)

### МЕЖПОПУЛЯЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЗНАКОВ ПЛОДА OXPAHЯEMOГО ВИДА ДАГЕСТАНА – SMILAX EXCELSA L.

<sup>1,2</sup>Алиев Х.У.

<sup>1</sup>ФГБУН «Горный ботанический сад» ДНЦ РАН, Махачкала, e-mail: alievxu@mail.ru; <sup>2</sup>ФГБУ «Сочинский национальный парк», Сочи

В статье рассматриваются вопросы изучения изменчивости признаков плода, собранных у 20 особей Smilax excelsa L. из двух изолированных популяций в Дагестане, до сих пор не затронутых специальными исследованиями. С применением современных статистических методов для изучения внутри- и межпопуляционной изменчивости морфологических признаков плода S. excelsa выявлена географическая обособленность двух изученных популяций, что подтверждается результатами t-критерия Стьюдента, показавшими высокий уровень достоверности различий всех учтенных признаков плода. Наибольший вклад в межпопуляционную изменчивость вносят признаки: «масса самого крупного семени» - 65,7 % и «масса семян» -48,8%, которые можно считать индикаторными, отражающими степень влияния экологических факторов среды и использовать как фенотический показатель в системе «генотип – среда». Выявлено увеличение значений всех учтенных морфологических признаков плода, кроме признака «количество семян в плоде» у популяции из окр. пос. Шушановка, произрастающей в более суровых климатических условиях. Вероятно, это связано с тенденцией большей затраты энергии особями на потомство, увеличивая при этом размерные и весовые признаки и уменьшая количество семян при экстремальных для вида условиях. Корреляционный анализ выявил достоверные положительные связи почти у всех пар признаков плода, кроме пары «масса самого крупного семени» с «количество семян в плоде», для которой характерна достоверная отрицательная связь. Наиболее высокие связи прослеживаются у признака «масса плода» со всеми остальными изученными признаками плода, что говорит о близких к функциональным взаимозависимостях. Результаты могут быть использованы при переиздании Красной книги Дагестана и в популяционно-экологических исследованиях.

Ключевые слова: охраняемый вид, Дагестан, Smilax excelsa L., изменчивость, морфологические признаки, плод, семена, корреляция

### INTERPOPULATION VARIABILITY OF THE FRUIT CHARACTERISTICS OF DAGESTAN PROTECTED SPECIES – SMILAX EXCELSA L.

1,2 Aliev Kh.U.

<sup>1</sup>Mountain Botanical Garden of DSC of RAS, Makhachkala, e-mail: alievxu@mail.ru; <sup>2</sup>Sochi National Park, Sochi

The article deals with the study of the variability of the fruit features collected from 20 Smilax excelsa L. from two isolated populations in Dagestan, which have not yet been touched by special studies. Using modern statistical methods to study the intra- and interpopulation variability of the morphological features of the S. excelsa fruit, the geographical isolation of the two populations studied was revealed, which is confirmed by the results of Student's t-test, which showed a high level of reliability of differences in all the considered signs of the fruit. The greatest contribution to interpopulation variability is made by the characteristics: «the mass of the largest seed» – 65.7% and «the mass of seeds» – 48.8%, which can be considered indicator, reflecting the degree of influence of environmental factors of the environment and used as a phenetic indicator in the system «genotype -environment». An increase in the values of all the observed morphological features of the fruit was revealed, in addition to the «number of seeds in the fruit « attribute in the population from the surrounding area of village Shushanovka, which grows in more severe climatic conditions. Probably, this is due to the tendency of greater energy expenditure by individuals on offspring, while increasing the size and weight attributes and decreasing the number of seeds under conditions that are extreme for the species. Correlation analysis revealed reliable positive relationships in almost all pairs of features of the fruit, except for the pair «the mass of the largest seed» with «the number of seeds in the fruit», for which a reliable negative relationship is characteristic. The highest connection can be traced from the characteristic «fruit weight» with the rest of the studied fruit characteristics that tells about close to functional interdependencies. The highest connections can be traced in the characteristic «mass of the fruit « with all other studied characteristics of the fruit, which indicates close to functional interdependencies. The results can be used in the re-issue of the Red Data Book of Dagestan and in population-ecological studies.

Keywords: protected species, Dagestan, Smilax excelsa L., variability, morphological feature, fruit, seeds, correlation

Изучение структуры морфологических и количественных признаков у видов из природных популяций является важным этапом выявления генофонда и восприятия происходящих в них микроэволюционных процессов. При этом анализ межпопуляционной изменчивости дает возможность установить долю влияния условий на эти

процессы, связанные с изоляцией и разнообразием эколого-географических факторов [1]. В Дагестане популяционно-экологические аспекты произрастания и структура изменчивости морфологических признаков плода редкого и охраняемого вида — Smilax excelsa L. до сих пор остаются не затронутыми специальными исследованиями.

Таблица 1 Статистические параметры количественных признаков плода S. excelsa окр. с. Приморское (Приморская низменность)

Выборка	Масса плода, г	Количество семян в плоде, шт	Масса семян, г	Масса само- го крупного семени, г	Диаметр плода, см	Высота плода, см
Bы	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$ ,	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$ ,	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$ ,			
	CV,%	CV,%	CV,%	CV,%	CV,%	CV,%
1	0,579 ± 0,0118 <b>11,2</b>	2,8 ± 0,09 <b>18,2</b>	0,123 ± 0,0035 <b>15,7</b>	0,048 ± 0,0010 <b>11,5</b>	0,98 ± 0,034 <b>8,6</b>	0,85 ± 0,011 <b>7,1</b>
2	0,563 ± 0,0111 <b>10,8</b>	2,9 ± 0,06 12,1	0,115 ± 0,0056 <b>26,6</b>	0,046 ± 0,0009 <b>10,5</b>	0,91 ± 0,014 <b>18,9</b>	$0.79 \pm 0.018$ <b>12.5</b>
3	0,529 ± 0,0106 <b>10,9</b>	$2,5 \pm 0,09$ <b>20,3</b>	0,108 ± 0,0036 <b>18,3</b>	0,047 ± 0,0014 <b>16,5</b>	0,98 ± 0,022 12,3	0,90 ± 0,007 <b>6,4</b>
4	0,324 ± 0,0098 <b>16,6</b>	2,6 ± 0,09 <b>19,2</b>	0,089 ± 0,0031 <b>19,2</b>	0,038 ± 0,0011 <b>15,7</b>	0,88 ± 0,012 7,4	0,78 ± 0,0011 <b>4,8</b>
5	$0,497 \pm 0,0143$ <b>15,2</b>	2,7 ± 0,10 <b>20,5</b>	$0,132 \pm 0,0049$ <b>20,1</b>	$0.053 \pm 0.0010$ <b>10.5</b>	$1,27 \pm 0,052$ <b>22,5</b>	0,90 ± 0,015 <b>9,4</b>
6	0,464 ± 0,0083 <b>9,7</b>	2,7 ± 0,085 <b>17,3</b>	0,105 ± 0,0030 <b>15,8</b>	0,043 ± 0,0009 <b>10,9</b>	1,11 ± 0,043 <b>21,1</b>	0,91 ± 0,008 <b>5,0</b>
7	0,394 ± 0,0107 <b>14,9</b>	$2,5 \pm 0,09$ <b>20,0</b>	0,128 ± 0,0043 <b>18,2</b>	$0.055 \pm 0.0011$ <b>10.7</b>	0,94 ± 0,014 <b>8,4</b>	0,79 ± 0,008 <b>5,8</b>
8	0,544 ± 0,0109 <b>10,9</b>	3,0 ± 0,08 13,9	0,153 ± 0,0034 <b>12,4</b>	0,055 ± 0,0009 <b>8,7</b>	$1,43 \pm 0,054$ <b>20,7</b>	0,86 ± 0,005 <b>3,0</b>
9	0,648 ± 0,0135 11,4	2,8 ± 0,09 17,3	0,169 ± 0,0041 <b>13,3</b>	0,066 ± 0,0015 12,7	1,59 ± 0,044 <b>15,0</b>	1,11 ± 0,043 21,4
10	0,372 ± 0,0123 <b>18,2</b>	2,4 ± 0,11 <b>25,7</b>	0,089 ± 0,0041 <b>25,6</b>	0,042 ± 0,0011 <b>14,5</b>	0,91 ± 0,012 7,4	0,82 ± 0,008 <b>5,1</b>
Всего	0,491 ± 0,0066 <b>23,4</b>	2,7 ± 0,03 <b>19,1</b>	$0,121 \pm 0,0019$ <b>27,2</b>	0,049 ± 0,0006 <b>19,8</b>	1,10 ± 0,017 <b>27,3</b>	0,87 ± 0,008 <b>15,1</b>

Цель исследований заключалась в анализе структуры внутри- и межпопуляционной изменчивости морфологических признаков плода двух изолированных популяций *S. excelsa* Дагестана, необходимом для выявления основных трендов в изменчивости.

Редкий и охраняемый вид S. excelsa на территории Дагестана произрастает в двух изолированных участках в составе внеярусной растительности и под пологом смешанных широколиственных лесов Терско-Сулакской и Приморской низменностей. Основной ареал исследуемого вида в республике сосредоточен в пределах Самурского реликтового лианового леса. Небольшими островками подобные лесные участки сохранились вдоль всей Приморской низменности, доходя до пос. Новый Каякент. Из-за высокой антропогенной нагрузки лесные участки по направлению к северу от указанной точки, протяженностью 150 км уже сведены и S. excelsa в настоящее время не произрастает. Вновь S. excelsa появляется в низменных лесах окр. с. Шушановка в Кизилюртовском районе.

Сбор материала для выявления внутрии межпопуляционной изменчивости морфологических признаков плода проводился в двух природных популяциях S. excelsa: окр. с. Приморское Магарамкентского района и в окрестностях с. Шушановка Кизилюртовского района. Всего для измерения с каждой популяции было использовано по 30 плодов с 10 особей. Учитывались следующие весовые и размерные признаки плода: масса плода, количество семян в плоде, масса семян, масса самого крупного семени, диаметр плода и высота плода. Анализ изменчивости признаков проводился с применением современных методов статистической обработки данных на лицензионной системе Statistica v. 5.5 [2, 3].

В табл. 1 приведены статистические параметры учтенных признаков плода *S. excelsa* приморской популяции, где видно, что наибольшая изменчивость на общепопуляционном уровне, относящаяся по шкале уровней изменчивости [4] к повышенной, характерна для признаков «масса плода», «масса семян» и «диаметр плода» (23,4%,

27,2% и 27,3% соответственно). Это подтверждается довольно высокими колебаниями средних значений изученных признаков. Так, на межиндивидуальном уровне средние значения признака «масса плода» колеблются от 0,324 г до 0,648 г. У признака «масса семян» значения колеблются от 0,089 г до 0,169 г. По большинству признаков плода общепопуляционные коэффициенты вариации выше, чем индивидуальные, что является косвенным показателем высокой межиндивидуальной изменчивости.

Проведенный корреляционный анализ у приморской популяции (табл. 2) выявил

статистическую достоверность связей между всеми изученными признаками плода *S. excelsa*.

Достоверная положительная корреляция наблюдается по всем парам признаков, кроме пары «масса самого крупного семени» и «количества семян в плоде», для которой характерна отрицательная корреляция. Наиболее высокие связи по шкале Чеддока [5] наблюдаются у признака «масса плода» со всеми остальными признаками и у пары признаков «масса семян» с «масса самого крупного семени» – 0,63 и с «диаметр плода» – 0,68.

Таблица 2 Коэффициенты корреляции для признаков плода S. excelsa окр. с. Приморское

Признаки	Macca	Количество	Macca	Масса самого	Диаметр	Высота
	плода,	семян в плоде,	семян,	крупного семени,	плода,	плода, см
	Γ	ШТ.	Γ	Γ	CM	
Масса плода, г	1,00					
Колич-во семян в плоде, шт.	0,53*	1,00				
Масса семян, г	0,75*	0,58*	1,00			
Масса сам. крупн. семени, г	0,46*	-0,16*	0,63*	1,00		
Диаметр плода, см	0,59*	0,34*	0,68*	0,53*	1,00	
Высота плода, см	0,55*	0,17*	0,47*	0,42*	0,55*	1,00

 $\Pi$  р и м е ч а н и е . \* – уровень достоверности P < 0.05.

**Таблица 3** Статистические параметры количественных признаков плода S. excelsa окр. с. Шушановка (Терско-Сулакская низменность)

Выборка	Масса плода, г	Количество семян в плоде, шт.	Масса семян, г	Масса само- го крупного семени, г	Диаметр плода, см	Высота плода, см
Выб	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$ ,	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$ ,	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$ ,			
	CV,%	CV,%	CV,%	CV,%	CV,%	CV,%
1	$0,553 \pm 0,0260$	$2,7 \pm 0,10$	$0,209 \pm 0,0100$	$0,085 \pm 0,0028$	$1,05 \pm 0,012$	$0.96 \pm 0.009$
	25,7	19,8	26,2	18,1	6,3	5,3
2	$0,662 \pm 0,0179$	$2,4 \pm 0,10$	$0,247 \pm 0,0092$	$0,111 \pm 0,0018$	$1,09 \pm 0,009$	$1,04 \pm 0,007$
	14,8	23,4	20,4	9,1	4,5	3,9
3	$0,637 \pm 0,0151$	$2,7 \pm 0,10$	$0,225 \pm 0,0063$	$0,091 \pm 0,0022$	$1,07 \pm 0,007$	$1,01 \pm 0,008$
	13,0	19,8	15,4	12,9	3,6	4,2
4	$0,533 \pm 0,0230$	$2,3 \pm 0,12$	$0,204 \pm 0,0120$	$0,095 \pm 0,0029$	$1,04 \pm 0,013$	$0,99 \pm 0,0011$
	23,6	28,2	32,3	16,6	6,9	6,2
5	$0,511 \pm 0,0182$	$2,7 \pm 0,10$	$0,212 \pm 0,0099$	$0,087 \pm 0,0034$	$1,00 \pm 0,011$	$0,94 \pm 0,011$
	19,5	19,8	25,5	21,4	5,7	6,2
6	$0,425 \pm 0,0162$	$2,6 \pm 0,09$	$0,179 \pm 0,0086$	$0,074 \pm 0,0024$	$0.95 \pm 0.011$	$0.91 \pm 0.010$
	20,9	19,2	26,4	17,5	6,6	6,2
7	$0,404 \pm 0,0140$	$2,3 \pm 0,10$	$0,140 \pm 0,0060$	$0,067 \pm 0,0019$	$0.94 \pm 0.011$	$0.91 \pm 0.009$
	19,0	23,3	23,4	15,2	6,1	5,3
8	$0,400 \pm 0,0118$	$2,3 \pm 0,10$	$0,127 \pm 0,0056$	$0,062 \pm 0,0023$	$0.93 \pm 0.010$	$0,89 \pm 0,008$
	16,2	23,0	24,1	20,8	5,9	4,8
9	$0,467 \pm 0,0122$	$2,8 \pm 0,09$	$0,156 \pm 0,0058$	$0,062 \pm 0,0020$	$0,97 \pm 0,009$	$0.97 \pm 0.007$
	14,3	18,2	20,2	18,1	4,9	3,7
10	$0,542 \pm 0,0129$	$2,6 \pm 0,09$	$0,189 \pm 0,0063$	$0,080 \pm 0,0020$	$1,03 \pm 0,008$	$0.96 \pm 0.006$
	13,0	19,2	18,3	13,4	4,3	3,4
Всего	$0,514 \pm 0,0074$	$2,5 \pm 0,03$	$0,189 \pm 0,0033$	$0,081 \pm 0,0011$	$1,01 \pm 0,005$	$0.96 \pm 0.004$
	24,8	22,2	30,6	24,4	7,7	6,8

Macca Признаки Macca Количество Масса самого Диаметр Высота плода, г семян в плоде, семян, г крупного семени, плода, плода, ШТ СМ СМ 1,00 Масса плода, г 0,52\* 1,00 Колич-во семян в плоде, шт. Масса семян, г 0.92\* 0,59\* 1,00

-0.14\*

0,46\*

0,45\*

Таблица 4 Коэффициенты корреляции для признаков плода S. excelsa окр. с. Шушановка

Примечание. \* – уровень достоверности P < 0.05.

0.66\*

0.95\*

0,91\*

Масса сам. крупн. семени, г

Диаметр плода, см

Высота плода, см

Таблица 5 Межпопуляционная изменчивость количественных признаков плода и t-критерий Стьюдента двух популяций S. excelsa в Дагестане

0,68\*

0,88\*

0,82\*

1,00

0,68\*

0,60\*

1,00

0,90\*

1,00

Выборка	Масса плода, г	Количе- ство семян в плоде, шт.	Масса семян, г	Масса самого крупного семени, г	Диаметр плода, см	Высота плода, см
Be	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$ ,	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$ ,	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$ ,	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}},$	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$ ,	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$ ,
	CV,%	CV,%	CV,%	CV,%	CV,%	CV,%
Самур	0,491 ± 0,0066 <b>23,4</b>	2,7 ± 0,03 <b>19,1</b>	0,121 ± 0,0019 27,2	0,049 ± 0,0006 <b>19,8</b>	1,10 ± 0,017 <b>27,3</b>	0,87 ± 0,008 <b>15,1</b>
Шушановка	0,514 ± 0,0074 <b>24,8</b>	$2,5 \pm 0,03$ <b>22,2</b>	0,189 ± 0,0033 <b>30,6</b>	0,081 ± 0,0011 <b>24,4</b>	1,01 ± 0,005 7,7	0,96 ± 0,004 <b>6,8</b>
t-критерий	2,2*	3,4***	17,7***	25,1***	5,1***	10,2***

Примечание. n = 30 Уровень достоверности по t-критерию – \* – P < 0,05; \*\* – P < 0,01; \*\*\* – P < 0,001.

Статистические параметры признаков плода популяции S. excelsa из окр. с. Шушановка приведены в табл. 3. В отличие от приморской популяции, здесь наблюдаются некоторые расхождения по уровню изменчивости признаков. Наибольшая изменчивость характерна для признака «масса семян», где общепопуляционное значение достигает 30,6%. Признаки «количество семян», «масса плода» и «масса самого крупного семени», также имеют повышенный уровень - 22,2, 24,8 и 24,4%, соответственно. Наиболее стабильными являются размерные признаки: «диаметр плода», характеризующийся низким уровнем (7,7%), и «высота плода» – очень низким (6.8%).

Результаты корреляционного анализа (табл. 4) показывают достоверную положительную корреляцию по всем парам признаков, кроме пары «масса самого крупного семени» и «количество семян в плоде», так же как и у приморской популяции функционально независящим друг от друга. Весьма высокая связь наблюдается у пар признаков «масса плода» с признаками «масса се-

мян» — 0.92, «диаметр плода» — 0.95 и «высота плода» — 0.91, а также между парой «высота плода» и «диаметр плода» — 0.90.

В табл. 5 приведены статистические параметры признаков межпопуляционной изменчивости. Видно, что почти все значения признаков выше у популяции окр. с. Шушановка, кроме – «количество семян в плоде».

Хотя существенных различий средних значений у признака «масса плода» не наблюдается, значительные различия проявляются у признаков «масса семян» и «масса самого крупного семени». Вероятно, это связано с условиями произрастания этих популяций. Шушановская популяция произрастает в более суровых условиях, чем приморская, расположенная на границе субтропического и умеренного поясов. Следовательно, особи популяции из окрестностей с. Шушановка тратят больше энергии на потомство, увеличивая при этом размеры и уменьшая количество семян. Степень различий между двумя популяциями был рассчитан с использованием t-критерия Стьюдента. Наблюдается высокий уровень достоверности различий

показателей у всех учтенных признаков. Наибольшие значения наблюдаются у признаков «масса семян» — 17,7 и «масса самого крупного семени» — 25,1. Меньше всего — у признака «масса плода» — 2,2.

Обобщенные показатели коэффициента корреляции двух популяций *S. excelsa* приведены в табл. 6. Так же как на внутрипопуляционном уровне, высокие связи прослеживаются у признаков «масса плода» со всеми признаками и между парой признаков «масса семян» и «масса самого крупного семени» – 0,80, свидетельствующих о близких к функциональным взаимозависимостях. Отрицательная связь прослеживается у пары «масса самого крупного семени» и «количество семян в плоде» – 0,19.

Значительные колебания в достоверности различий по комплексу изученных количественных признаков, как внутри-, так

и на межпопуляционном уровнях, просматриваются по итогам двухфакторного дисперсионного анализа (табл. 7).

Наибольший вклад во внутрипопуляционную изменчивость вносят признаки «диаметр плода» - 61,5%, «масса плода» -58,7% и «высота плода» -39,6%, которые на межпопуляционном уровне или вообще не влияют - признак «масса плода» (0%), или вносят незначительную долю - «диаметр плода» (1,9%). Что касается межпопуляционного уровня, здесь наибольший вклад в изменчивость вносят признаки «масса самого крупного семени» – 65,7% и «масса семян» – 48,8%. Эти признаки можно считать индикаторными, отражающими степень влияния экологических факторов среды, и использовать как фенетический показатель в системе «генотип – среда».

Таблица 6 Коэффициенты корреляции для признаков плода S. excelsa двух популяций

Признаки	Macca	Количество	Macca	Масса само-	Диаметр	Высота
	плода, г	семян в пло-	семян, г	го крупного	плода,	плода, см
		де, шт.		семени, г	СМ	
Масса плода, г	1,00					
Колич-во семян в плоде, шт.	0,51*	1,00				
Масса семян, г	0,73*	0,38*	1,00			
Масса сам. крупн. семени, г	0,47*	-0,19*	0,80*	1,00		
Диаметр плода, см	0,52*	0,32*	0,29*	0,11*	1,00	
Высота плода, см	0,61*	0,18*	0,62*	0,54*	0,44*	1,00

 $\Pi$  р и м е ч а н и е . \* – уровень достоверности P < 0.05.

Таблица 7 Результаты двухфакторного дисперсионного анализа для признаков плода S. excelsa двух популяций

Признаки	Факторы	df	MS фак-	Df оста-	MS оста-	F-критерий	h <sup>2</sup> ,%
			тора	точное	точное		
Massa	Популяция	1	0,07	18	0,28	0,26	0,0
Масса плода	Выборка	18	0,28	580	0,01	43,59***	58,7
Количество семян в плоде	Популяция	1	3,38	18	1,02	3,30	2,6
Коли всетво семии в плоде	Выборка	18	1,02	580	0,27	3,82***	8,4
Massassass	Популяция	1	0,69	18	0,03	21,35***	48,8
Масса семян	Выборка	18	0,03	580	0,001	25,51***	23,0
Масса самого крупного	Популяция	1	0,15	18	0,01	32,62***	65,7
семени	Выборка	18	0,01	580	0,0001	44,53***	20,3
П	Популяция	1	1,27	18	0,98	1,30	1,9
Диаметр плода	Выборка	18	0,98	580	0,02	51,28***	61,5
D	Популяция	1	1,13	18	0,18	6,36*	21,9
Высота плода	Выборка	18	0,18	580	0,01	31,84***	39,6

П р и м е ч а н и е .  $h^2$ , % — сила влияния фактора, \*\*\* — достоверность различий на р < 0,001.

Дискриминантный анализ показал, что наибольший вклад в изменчивость вносят признаки: «масса плода» — 224,52, «масса семян» — 157,58 и «масса самого крупного семени» — 99,87. Малоинформативным оказался признак «количество семян в плоде» — 8,71 (табл. 8).

# Таблица 8 Итоги дискриминантного анализа показателей признаков плода S. excelsa двух популяций

Признаки	F-критерий
В модели	
Масса плода	224,52***
Масса семян	157,58***
Масса самого крупного семени	99,87***
Диаметр плода	85,44***
Высота плода	75,48***
Не в модели	
Количество семян в плоде	8,71**

 $\Pi$  р и м е ч а н и е . Уровень достоверности: \*-P < 0.05; \*\*-P < 0.01; \*\*\*-P < 0.001.

#### Заключение

- 1. На основе изучения внутри- и межпопуляционной изменчивости морфологических признаков плода изолированных популяций *S. excelsa* Дагестана доказана их географическая обособленность, подтвержденная результатами t-критерия Стьюдента, которые показали высокий уровень достоверности различий у всех учтенных признаков.
- 2. Выявлено увеличение значений всех учтенных морфологических признаков плода, кроме признака «количество семян в плоде» у популяции из окр. с. Шушановка, произрастающей в более суровых климатических условиях. Вероятно, это связано с тенденцией большей затраты энергии особями на потомство, увеличивая при этом размерные и весовые признаки и уменьшая количество семян в экстремальных условиях произрастания.
- 3. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа выявили, что наибольший вклад в межпопуляционную изменчивость признаков плода вносят признаки «масса самого крупного семени» 65,7% и «масса семян» 48,8%, которые можно считать индикаторными, отражающими степень вли-

- яния экологических факторов среды, и использовать как фенетический показатель в системе «генотип среда».
- 4. Корреляционный анализ выявил достоверные положительные связи почти у всех пар признаков плода, кроме пары «масса самого крупного семени» с «количество семян в плоде» с отрицательной связью. Наиболее высокие связи у признака «масса плода» со всеми остальными признаками, что говорит о близких к функциональным взаимозависимостях.
- 5. Результаты могут быть использованы при переиздании Красной книги Дагестана и в популяционно-экологических исследованиях, в качестве примера для выявления специфических особенностей проявления адаптивных стратегий в эколого-географическом потенциале видов растений.

#### Список литературы

- 1. Магомедмирзаев М.М. Проблемы адаптивных стратегий растений / М.М. Магомедмирзаев, З.А. Гусейнова, А.Н. Алибегова, С.М. Магомедова. Махачкала: Изд-во «Наука ДНЦ», 2013. 300 с.
- 2. Лакин Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. М.: Высшая школа, 1980. 293 с.
- 3. Ростова Н.С. Корреляционный и многомерный анализ: применение в популяционных исследованиях // Современное состояние и пути развития популяционной биологии: материалы X Всероссийского популяционного семинара. Ижевск: Изд-во КнигоГрад, 2008. С. 51–56.
- 4. Ивантер Э.В. Введение в количественную биологию: учебное пособие / Э.В. Ивантер, А.В. Коросов. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2011.-302 с.
- 5. Ивантер Э.В. Элементарная биометрия: учебное пособие. 3-издание, исправленное и дополненное / Э.В. Ивантер, А.В. Коросов. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2013. 110 с.

### References

- 1. Magomedmirzaev M.M., Guseinova Z.A., Alibegova A.N., Magomedova S.M. Problemy adaptivnykh strategii rastenii [The problem of adaptive strategies of plants]. Makhachkala, «Nauka DNTs», 2013, 300.
- 2. Lakin G.F. Biometriia [Biometrics]. Moscow, Vysshaia shkola, 1980, 293.
- 3. Rostova N.S. Korreliatsionnyi i mnogomernyi analiz: primenenie v populiatsionnykh issledovaniiakh [The correlation and multidimensional analysis: application in population research]. Sovremennoe sostoianie i puti razvitiia populiatsionnoi biologii. Materialy Kh Vserossiiskogo populiatsionnogo seminara (g. Izhevsk, 17–22 noiabria 2008 g.) [Proceedings of The current state and ways of development of population biology. Materials X Russian population seminar (Izhevsk, November 17–22, 2008)], Izhevsk, KnigoGrad, 2008, pp. 51–56.
- 4. Ivanter E.V., Korosov A.V. Vvedenie v kolichestvennuiu biologiiu [The introduction to quantitative biology]. Petrozavodsk, PetrGU, 2011, 302.
- 5. Ivanter E.V., Korosov A.V. Elementarnaia biometria [Elementary biometrics]. 3-e izd., ispr. i dopoln.. Petrozavodsk, PetrGU, 2013, 110.

УДК 630\*181.28(470.1/.2)

### ЗИМОСТОЙКОСТЬ И МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ В АНТРОПОГЕННОЙ СРЕДЕ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

### Андронова М.М.

Вологодский институт права и экономики ФСИН России, Вологда, e-mail: mary1969@ya.ru

Зеленые насаждения населенных пунктов, являясь одним из элементов городских экосистем, выполняют различные функции по формированию и поддержанию благоприятной среды для проживания населения. Сформировавшийся в суровых природно-климатических условиях ассортимент древесных видов слишком беден для создания высокодекоративных зеленых насаждений. Безморозный период для городов области составляет 120-135 дней и часто сокращается по причине поздневесенних и раннеосенних заморозков. В сложившихся условиях одним из направлений расширения перечня пород, используемых в зеленом строительстве, является интродукция инорайонных видов, обладающих высокими адаптационными способностями. В рамках проводимых исследований на территориях малых городов Вологодской области изучены вопросы адаптации растений к новым условиям. Для оценки зимостойкости и морозо-устойчивости использована методика ГБС РАН. Сделан вывод об устойчивости растений к термическим условиям. Наиболее устойчивыми являются местные виды, адаптационные способности которых развивались в ходе эволюции. Среди экстразональных видов наибольшую устойчивость имеет липа мелколистная (Tilia cordata L.). Выделены виды-интродуценты, обладающие более высокой устойчивостью, а именно: сосна скурченная (Pinus contorta Douglas ex Loudon), ель колючая (Picea pungeus Engelm.), ива ломкая (Salix fragilis L.), сирень венгерская (Siringa josikaea Jacq. fil.), карагана древовидная (Caragana arborescens Lam.). К наименее устойчивым к воздействию температур отнесены: каштан конский обыкновенный (Aeculus hippocastanum L.), вяз мелколистный (Ulmus parvifolia Jacq.), спиреи дубравколистная и иволистная (Spiraea chamaedryfolia L., Spiraea salicifolia L.), рябинник рябинолистный (Sorbaria sorbifolia (L.) A. Braun), жимолость татарская (Lonicera tatarica L.), для которых характерно обмерзание не только однолетних, но и более старых побегов. Кроме того, отмечено, что устойчивость видов даже в условиях Вологодской области может значительно отличаться в зависимости от зональных отличий места произрастания (подзоны южной и средней тайги).

Ключевые слова: древесные виды, зимостойкость, морозоустойчивость, индекс обмерзания, урбанизированная среда

## WINTER HARDINESS AND FROST RESISTANCE OF WOOD SPECIES IN THE ANTHROPOGENIC ENVIRONMENT OF EUROPEAN NORTH OF RUSSIA

Andronova M.M.

Vologda Institute of Law and Economics of the Federal Penal Service of Russia, Vologda, e-mail: mary1969@ya.ru

Green plantations of settlements being one of the elements of urban ecosystems perform various functions for the formation and maintenance of an enabling environment for the population's living. Formed in severe climatic conditions the range of tree species is too poor to create highly decorative greenery. The frost-free period for the cities of the region is 120-135 days, which often changes towards reduction due to late spring and early autumn frosts. Under the current conditions one of the directions for expanding the list of species used in green construction is the introduction of non-native species with high adaptive abilities. As part of ongoing research in the small towns of the Vologda region adaptation of plants to new conditions is studied. To evaluate winter hardiness and frost resistance the methodology of the GBS of the Russian Academy of Sciences was used. A conclusion is drawn about the resistance of plants to thermal conditions. The most resistant are the native species whose adaptive abilities developed during evolution. Among extrazonal species Small-leaved linden (Tilia cordata L.) has the greatest resistance. Species-introducents with higher resistance are distinguished, namely: shore pine (Pinus contorta Douglas ex Loudon), Colorado spruce (Picea pungens Engelm.), willow brittle (Salix fragilis L.), lilac Hungarian (Syringa josikaea Jacq. fil.), Siberian peashrub (Caragana arborescens Lam.). To the least resistant to the influence of temperatures are: horse chestnut (Aesculus hippocastanum L.), Chinese elm (Ulmus parvifolia Jacq.), Germander spiraea (Spiraea chamaedryfolia L.) and Willowleaf spirea (Spiraea salicifolia L.), Rovan leaf spirea (Sorbaria sorbifolia (L.) A. Braun), Tartarian honeysuckle (Lonicera tatarica L.), which is characterized by the freezing of not only annual but also older shoots. In addition it was noted that the resistance of species even in the conditions of the Vologda region may differ significantly, depending on the zonal differences in the place of growth (subzones of the southern and middle taiga).

 $Keywords: wood \ species, winter \ hardiness, frost \ resistance, freezing \ index, urban \ environment$ 

В конце XX века и начале нового тысячелетия в России, как и в мире в целом, приоритетными общечеловеческими ценностями признаются социальные, экологические и культурные функции леса. Все они рассматриваются во взаимосвязи с улучше-

нием, а точнее сказать, с повышением биологического разнообразия, в том числе и городских зеленых насаждений.

Являясь одним из элементов урбоэкосистем, зеленые насаждения выполняют различные функции по формированию и поддержанию благоприятной среды для проживания населения.

Для создания архитектурно-художественной среды с высоким эстетическим восприятием элементов городского устройства необходимо предусмотреть подбор пород деревьев и кустарников таким образом, чтобы обеспечивалась долговременная декоративность и привлекательность насаждений. Для условий с суровыми природнорастительными условиями такой эффект может быть достигнут только внедрением новых, инорайонных, видов, что позволяет оптимизировать городскую среду для восприятия населения.

Успешное введение новых пород в зеленое строительство характеризуется высокой устойчивостью растений к неблагоприятным факторам среды. Одним из важнейших биологических признаков растений, позволяющих проводить их натурализацию на север, является зимостойкость. Работы по интродукции древесных растений в условия севера в последнее время проводятся достаточно широко [1– 3]. При этом исследователями придается особое внимание оценке зимостойкости древесных видов [4-6]. Определение отношения инорайонных видов к условиям урбанизированной среды малых городов Европейского Севера и являлось одним из направлений проведенных исследований на территории Вологодской области.

Вологодская область расположена на северо-западе европейской территории России в зоне тайги. Территория области простирается с запада на восток на 700 км, а на юг распространяется лишь на 400 км.

По условиям агроклиматического зонирования территория Вологодской области подразделена на два агроклиматических района, отличающихся суммами активных температур и осадков за вегетационный период.

Для области характерны частые вторжения арктических холодных воздушных масс в любое время года, сопровождающиеся резким понижением температуры и, как следствие, возвратными заморозками, вызывающими повреждение и гибель растений.

Безморозный период в среднем длится 100—120 дней. Для городов безморозный период длится 115—135 дней в зависимости от агроклиматической зоны [7].

Устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 15°C наблюдается во второй декаде июня. Период

с температурами воздуха выше 15 °C продолжается в течение 50–60 дней. Заморозки начинаются во второй декаде сентября, в отдельные годы — раньше (вторая — третья декада августа).

Первый снежный покров появляется в третьей декаде октября. Устойчивый снежный покров обычно появляется во второй декаде ноября. Снежный покров благодаря малой теплопроводности способствует сохранению тепла в почве, предохраняя ее от глубокого промерзания и защищая зимующие растения от вымерзания. Средняя глубина промерзания почвы за зиму составляет 50–70 см, но в отдельные годы она значительно отклоняется от средней величины и в холодные и малоснежные зимы достигает 90–120 см, нанося ущерб растениям, особенно теплолюбивым видам [7].

Ассортимент местных пород деревьев и кустарников, сформировавшийся в суровых условиях, характеризуется скудным составом. К основным лесообразующим породам относят семь видов деревьев: ель (обыкновенная и сибирская), сосна обыкновенная, береза (повислая и пушистая), осина, ольха серая. В лесах Вологодской области еще можно встретить лиственницы сибирскую и Сукачева, пихту сибирскую и сосну сибирскую кедровую, которые заходят на территорию области с севера и востока или произрастают в культуре. Липа мелколистная, дуб черешчатый, клен остролистный, вязы (гладкий и шершавый) – редкие древесные породы для лесов области, многие из них занесены в региональную Красную книгу. Количество видов кустарников в лесах области небольшое. К редким кустарникам, в частности, относится калина обыкновенная, к очень редким - свидина белая. Следовательно, и ассортимент древесно-кустарниковых пород, используемый в озеленении населенных пунктов Вологодской области, в основном представлен таежными породами деревьев и кустарников. Представители местной флоры наиболее устойчивы в условиях Севера. Они относятся к основному ассортименту и должны составлять не менее 60% в общем составе зеленых насаждений [8].

В то же время для решения задачи создания наиболее комфортных условий для проживания населения необходимо проведение работ по интродукции инорайонных видов с учетом их происхождения, возможной адаптации к местным природ-

ным условиям, декоративности растений. В настоящее время предлагается широкий ассортимент видов-экзотов для использования в ландшафтном дизайне. Однако далеко не весь предлагаемый перечень древесных растений отвечает требованиям, предъявляемым к посадочному материалу по критериям его зимостойкости. Проблема выбора зимостойких видов деревьев и кустарников является сложной и комплексной [9].

Исследования проводились на территории малых городов Вологодской области, отличающихся природно-климатическими условиями. Оценка зимостойкости и морозоустойчивости проведена для 46 древесных видов, относящихся к различным флористическим областям. Как отмечают Р.Н. Матвеева, О.Ф. Буторова, А.Б. Романова [10], уточнение приуроченности растений к определенным физико-географическим районам с различными естественно-природными характеристиками позволяет сделать предположение о возможности интродукции вида в новые условия произрастания. И вполне естественно, что виды с широким диапазоном экологической валентности, ареалом распространения которых являются районы со сходными в первую очередь климатическими условиями, будут являться наиболее перспективными с точки зрения интродукции.

Кроме того, является хорошо известным фактом, что города – это островки с особым микроклиматом [11, 12]. Городская застройка, особенно многоэтажная, изменяет направление потоков ветра, создавая зоны, защищаемые от высоких ветровых нагрузок, а также температурный режим территорий. Его формирование обусловлено усиленным притоком антропогенного тепла (работа промышленных предприятий, транспорт, котельные установки, а также дополнительные источники теплового излучения - искусственные покрытия улиц и площадей, крыш и стены зданий). Воздействие промышленных предприятий и транспорта, существенно изменяющих состав воздуха в направлении уменьшения содержания кислорода и увеличения концентрации углекислого газа, способствует развитию парникового эффекта, что влечет за собой повышение температуры по сравнению с окружающими территориями и увеличение безморозного периода. Это, в свою очередь, создает благоприятные условия для внедрения в городские экосистемы новых инорайонных видов.

Т. Оук [11] продемонстрировал, что даже в малых населенных пунктах с населением 1000 чел. образуются так называемые городские островки тепла, в которых температура на 2,2°С выше окружающей местности. Согласно формуле Оука для малых городов Вологодской области превышение температуры воздуха над окружающей местностью находится в пределах 2,71–3,39°С.

Одним из приспособлений растений к сезонным изменениям погоды является адаптация их к термическим условиям. Активная вегетация большинства растений проходит в период со средними суточными температурами воздуха выше +10°С. Безморозный период для городов области составляет 115—135 дней в зависимости от агроклиматической зоны. Но в отдельные годы может значительно сокращаться поздневесенними и раннеосенними заморозками.

#### Материалы и методы исследования

Материал для написания данной статьи был подготовлен на основании изучения древесных растений, проведенного в период с 2012 по 2016 г. на территории малых городов Вологодской области. Оценку зимостойкости древесных растений проводили после окончания поздневесенних заморозков по шкале Главного ботанического сада Академии наук (ГБС РАН): І – растение не обмерзает; II – обмерзает не более 50% длины однолетних побегов; III – обмерзает от 50 до 100% длины однолетних побегов; IV - обмерзают не только однолетние, но и более старые побеги; V - обмерзает надземная часть до снегового покрова; VI – обмерзает вся надземная часть; VII – растение вымерзает целиком.

Для оценки морозоустойчивости древесных пород определялся индекс обмерзания и полученные данные сравнивались со следующей шкалой ГБС РАН: 0 — растение не обмерзает; 0,1—0,9 — растение слабо обмерзает; 1,0—7,9 — растение умеренно обмерзает; 8,0—69,9 — растение значительно обмерзает; 70,0—100,0 — растение полностью вымерзает. Здесь 0—100,0 — значения индекса обмерзания, %.

Индекс обмерзания определяли по формуле

$$\mathbf{H} = \frac{100 \cdot L \cdot C}{H \cdot C},$$

где L – длина обмерзшей части ветки, м; c – диаметр у основания обмерзшей части ветки, м; H – высота растения, м; C – диаметр ствола (ниже первой ветки), м.

### Результаты исследования и их обсуждение

Одним из приспособлений растений к сезонным изменениям погоды является адаптация их к термическим условиям. Активная вегетация большинства растений проходит в период со средними суточными температурами воздуха выше +10 °С. Безморозный период для городов области составляет 115—135 дней в зависимости от агроклиматической зоны. Но в отдельные годы может значительно сокращаться поздневесенними и раннеосенними заморозками.

Зимостойкость - один из биологических признаков, определяющих возможность интродукции растений на север. Под зимостойкостью понимают устойчивость растений к длительным неблагоприятным условиям зимовки, к которым главным образом относят морозы, внезапные резкие колебания температуры, выпирание и разрыв корней ледяной прослойкой, образующейся в почве, солнечные ожоги в период ясной морозной погоды, иссушение солнцем и ветром стволов при отсутствии сокодвижения, вымокание в талой воде весной [1, 6, 13]. С другой стороны, зимостойкость растений можно рассматривать как один из параметров оценки их декоративности, поскольку она неизбежно влияет на внешний вид растений. Кроме того, представители дендрофлоры, относящиеся к сильнообмерзающим растениям, требуют дополнительных затрат на поддержание их декоративных свойств и, следовательно, эстетического восприятия насаждений в целом, что также следует учитывать при выборе пород для озеленения элементов городской структуры.

Морозоустойчивость древесных пород – это способность растений переносить длительные понижения температуры (ниже –25°С), суровые зимы, поздневесенние заморозки. У морозоустойчивых пород обычно не образуются морозобойные трещины при сильных морозах, не повреждаются весенними заморозками молодые побеги [13].

После окончания поздневесенних заморозков, в результате которых могут повредиться начавшие расти побеги, производилась оценка зимостойкости наблюдаемых деревьев и кустарников и данные показатели сравнивались с опубликованными ранее (таблица).

Находясь в сходных условиях произрастания, растения могут по-разному реагировать на неблагоприятные условия.

Наиболее зимостойки местные виды: лиственница сибирская, ель европейская, сосна обыкновенная, черемуха обыкновенная, рябина обыкновенная, шиповник майский. Самыми устойчивыми к природно-климатическим условиям Вологодской области из экстразональных видов является липа мелколистная, среди инорайонных видов сосна скрученная, ель колючая, ива ломкая, сирень венгерская, карагана древовидная. Слабо обмерзают: калина обыкновенная, свидина белая, арония черноплодная, барбарис обыкновенный, боярышник кровавокрасный, вишня обыкновенная, кизильник блестящий, дуб черешчатый, клен остролистный, тополь бальзамический, тополь серебристый, яблоня ягодная, туя западная, сосна кедровая сибирская. Самыми уязвимыми к суровым климатическим условиям из деревьев-интродуцентов являются: каштан конский обыкновенный, вяз мелколистный. Среди кустарников к этой группе можно отнести снежноягодник белый, спиреи дубравколистную и иволистную, рябинник рябинолистный, жимолость татарскую, для которых характерно обмерзание не только однолетних, но и более старых побегов. Однако здесь следует отметить, что кустарниковые формы достаточно быстро восстанавливаются после повреждения низкими температурами и поздневесенними заморозками.

При выборе видов для озеленения населенных пунктов следует учитывать и тот факт, что зимостойкость не является постоянным свойством и может изменяться год от года в зависимости от погодных условий, происхождения семян и саженцев, возраста насаждений.

Огромную роль в адаптации растений к различным природно-растительным условиям играет их место расположения в насаждениях. Наибольшее воздействие неблагоприятные климатические факторы оказывают на деревья и кустарники, произрастающие на открытых местах, подверженных более сильному влиянию резких холодных ветров и пониженных температур окружающего воздуха. Растения, особенно с ранними сроками сезонного развития, расположенные на солнечных местах, защищенных от воздействия холодных ветров, начинают вегетировать раньше растений этого же вида, находящихся в менее благоприятных условиях. Это, в свою очередь, может являться причиной повреждения их при возвратных весенних заморозках (дуб черешчатый, клен ясенелистный и др.).

Зимостойкость деревьев и кустарников

	стойкость				Морозоустойчивость	йчивость	
Вологодская область			Дендросад	Bo	Вологодская область	CT.b	г. Северод
малые города г. Вологда [1] Д (наши данные)	Дендросад ВГМХА винск (наши данные)	винск [13]   А	LTY [14]	малые города (наши данные)	г. Вологда [1]	Дендросад ВГМХА (наши данные)	винск [13]
балл з	балл зимостойкости				индекс обмерзания	ерзания	
	Деревья	1					
	Аборигенные виды	з виды					
П П(40)	П	-	N	0,03	0,1	0,1	2,0
II (30)		1	IV	0,03	0,1	0,1	2,4
II – II	I II	I	II	0,03	_	0,2	2,9
I-II	$\operatorname{I}$	I	II	0,01	0,0	0,0	1,0
II		I	II	0,05	1	1	0,5
$I \qquad \qquad I \qquad \qquad I$	- I		1	0,0	0,0	0.0	1
(0) I I	- I	-	I	0,0	0,0	0,0	ı
I (0) $I$	· I	1	ı	0,0	0,0	0,0	ı
	Экстразональные виды	ые виды					
III II (20)	- II	_	ı	0,03	0,3	0	_
$\Pi$ $\Pi$ (40)	-   II		ı		0,5	0,46	ı
$\parallel (09) \text{ III} \parallel$	_   II	_	ı	0,05	0,4	0	1
$I \qquad \qquad I$	I	I	П	0,0	0,0	0	0,2
П П(30)	- II		I	0-2,4*	0,4	0	ı
	Интродуцированные виды	ные виды					
II–IV –		-	ı	0,3–21,9	ı	0,1	1
I I (0)		I	П	0	0,0	I	0,4
I	I		1	0	_	0,0	_
V II (30)	- II	ı	I	2'99	1,2	2,38	I
		1	ı	1,1		0,5	ı
$I \qquad \qquad I$	I	1	ı	0	0,1	0,1	ı
_ II		I	П	0,1	ı	ı	0,04
		1	ı	0,1	ı	ı	ı
П (П(70)	П	1	ı	0,25	8,0	0	ı
II		1	ı	0,0–10,9	ı	0,0	ı
	1						

е таблицы		г. Северод-	винск [13]		0,1	1			4,2	0,2	6,0		6,0	ı	0,4	0,1	8,3	4,3	4,0	I	ı	I	1	2,0	1	ı	I	ı	ı	10,0
Окончание таблицы	<b>і</b> чивость	TB	Дендросад ВГМХА (наши данные)	ерзания	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0		ı	0,0	6,3	8,75	0,0	14,12	0,0	21,21	0,27	3,41	-	0,0	2,3	22,9	4,4	5,0	I	2,0
	Морозоустойчивость	Вологодская область	г. Вологда [1]	индекс обмерзания	1	ı			1	1	ı		ı	0,1	ı	0,1		0,2	0,0	1	0,3	-	_	ı	1	ı	ı	ı	ı	0,3
		Bor	малые города (наши данные)		0,2	0,0			2,5	0	0		0,3	6,2	0,3	5,8	5,8	12,7–24,0	0,0	5,3	0,1	14,6	0,1–37,6	0,0	4,0–12,4	10,0–20,8	35,3	23,8–28	4,0–11,7	11,7–20,0
		Дендросад	ALTY [14]		П	ı			П	II	ı	(b.1	П	ı	N	Ш	N	N	II	IV	1	I	-	IV	1	1	ı	ı	1	Ш
		г. Северод-	винск [13]		ı	ı	Кустарники	Аборигенные виды	I	I	ı	Интродуцированные виды	Ι	ı	Ι	Ι	I	I	I	I	ı	I	-	I	1	ı	ı	ı	ı	II-II
	Зимостойкость	бласть	Дендросад ВГМХА (наши данные)	балл зимостойкости	I	I	Kycı	Абориге	II	I	I	Интродуци	ı	II	I	III	II	IV	I	IV	II	II	II	I	II	IV	III	II	I	II
	(,)	Вологодская обл	г. Вологда [1]	бал	1	ı			1	ı	1		1	(09) III	ı	III (50)		III (70)	I (0)	1	1	ı	-	1	1	1	ı	ı	1	II (45)
			малые города (наши данные)		II	I			II	I	II		II	II	II	III	II	IV	I	II	II-I	N	II–IV	I	II–IV	IV	VI–III	IV	IV	MI–IV
	Порода				Сосна сибирская кедровая	Сосна скрученная			Калина обыкновенная	Черемуха обыкновенная	Шиповник майский		Арония черноплодная	Барбарис обыкновенный	Боярышник кроваво- красный	Бузина красная	Дерен белый	Жимолость тагарская	Карагана древовидная	Кизильник блестящий	Клен Гиннала	Пузыреплодник калино- листный	Рябинник рябинолистный	Сирень венгерская	Сирень обыкновенная	Снежноягодник белый	Спирея дубровколистная	Спирея иволистная	Чубушник венечный	Шиповник морщинистый

Примечание стание. \* нижнее значение интервала относится к городам, расположенным в более благоприятных климатических условиях (Грязовец, Устюжна), верхнее значение – для городов с менее благоприятными климатическими условиями (Великий Устют, Вытегра).

#### Выводы

Таким образом, зимостойкость и морозоустойчивость видов дендрофлоры является важным фактором, определяющим условия интродукции их на Европейском Севере России. Наиболее устойчивым к природноклиматическим условиям Вологодской области из экстразональных видов является липа мелколистная, а среди инорайонных видов — сосна скрученная, ель колючая, ива ломкая, сирень венгерская, карагана древовидная, что указывает на перспективность их использования в озеленении малых городов Вологодской области.

#### Список литературы

- 1. Бабич Н.А. Интродуценты и экстразональные виды в антропогенной среде (на примере г. Вологды) / Н.А. Бабич, Е.Б. Карбасникова, И.С. Долинская. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2012. 184 с.
- 2. Интродукция некоторых древесных видов растений североамериканской флоры в среднетаежной подзоне Республики Коми / Л.А. Скупченко, О.В. Скроцкая, С.А. Мифтахова, А.Н. Пунегов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 5. С. 208—213.
- 3. Мартынов Л.Г. Ритм сезонного развития и зимостой-кость европейских видов древесных растений в подзоне средней тайги Республики Коми // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. -2015. Т. 17. № 5. С.155-159.
- 4. Арестова С.В. Мониторинг роста и состояния некоторых видов рода Асег L. в Саратовском Поволжье / С.В. Арестова, Е.А. Арестова // Успехи современного естествознания. -2017. -№ 10. -C. 23-28.
- 5. Strimbeck G.R. Extreme low temperature tolerance in woody plants / G. Richard Strimbeck. Paul G. Schaberg, Carl G. Fossdal, Wolfgang P. Schröde, Trygve D. Kjellsen // Frontiers in Plant Science. 2015. V. 6. Article 884. pp. 1–15. DOI: 10.3389/fpls.2015.00884.
- 6. Charra-Vaskou K. Drought and frost resistance of trees: a comparison of four species at different sites and altitudes / K. Charra-Vaskou, G. Charrier, R. Wortemann, B. Beikircher, H. Cochard, T. Ameglio, S. Mayr // Annals of Forest Science, Springer Verlag/EDP Sciences, 2012, 69 (3), pp. 325–333.
- 7. Агроклиматические ресурсы Вологодской области. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 192 с.
- 8. Андронова М.М. Таксономический состав и систематическая структура дендрофлоры г. Белозерска / М.М. Андронова // Лесной журнал. -2016. -№ 4(352). -C. 54–60.
- 9. Лысиков А.Б. К вопросу о зимостойкости декоративных культур / А.Б. Лысиков // Актуальные проблемы лесного комплекса. -2016. № 44. -C. 39–43.
- 10. Матвеева Р.Н. Интродукция растений в дендрарии СибГТУ / Р.Н. Матвеева, О.Ф. Буторова, А.Б. Романова. Красноярск: СибГТУ, 2000. 194 с.
- 11. Oke T.R. City size and the urban heat island // Atmos. Environ. 1973. N 7. P. 769–779.
- 12. Shumilov O.I. Urban Heat Island Investigations in Arctic Cities of Northwestern Russia / O.I. Shumilov, E.A. Kasatkina, A.G. Kanatjev // Journal of Meteorological Research. 2017. V. 31. P. 1161–1162.

- 13. Бабич Н.А. Зимостойкость и морозоустойчивость интродуцентов / Н.А. Бабич, О.С. Залывская // Лесной вестник. -2014. -№ 1. C. 105–110.
- 14. Малаховец П.М. Деревья и кустарники дендросада АГТУ / П.М. Малаховец, В.А. Тисова. Архангельск: АГТУ, 1999. 50 с.

#### References

- 1. Babich N.A., Karbasnikova E.B., Dolinskaia I.S. Introdutsenty i ekstrazonal'nye vidy v antropogennoi srede (na primere g.Vologdy) [Introducing and extrazonal species in anthropogenic environment (on the example of Vologda)]. Arhangel'sk, IPTs SAFU, 2012, 184.
- 2. Skupchenko L.A., Skrotskaia O.V., Miftakhova S.A., Punegov A.N. Introduction of some woody species of north american flora plants in middle taiga subzone in komi republic [Introduktsiia nekotorykh drevesnykh vidov rastenii severoamerikanskoi flory v srednetaezhnoi podzone Respubliki Komi ]. Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk News of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences, 2015, vol. 17, no. 5, pp. 208–213.
- 3. Martynov L.G. Rhythm of seasonal development and winter hardiness of european woody plants species in the middle taiga subzone of komi republic [Ritm sezonnogo razvitiia i zimostoikost' evropeiskikh vidov drevesnykh rastenii v podzone srednei taigi Respubliki Komi ]. Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk News of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences, 2015, vol. 17, no. 5, pp. 155–159.
- 4. Arestova S.V., Arestova E.A. Growth and condition monitoring of some species of Acer L. genus in Saratov Volga region [Monitoring rosta i sostoianiia nekotorykh vidov roda Acer L. v Saratovskom Povolzh'e]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia Advances in Current Natural Sciences, 2017, no. 10, pp. 23–28.
- 5. Strimbeck G.R. Extreme low temperature tolerance in woody plants . Frontiers in Plant Science, 2015, no. 6, pp. 1–15. DOI: 10.3389/fpls.2015.00884.
- 6. Charra-Vaskou K. Drought and frost resistance of trees: a comparison of four species at different sites and altitudes. Annals of Forest Science, 2012, no. 69, pp. 325–333.
- 7. Agroklimaticheskie resursy Vologodskoj oblasti [Agroclimatic resources of Vologda region], Leningrad, Gidrometeoizdat, 1972, pp. 192.
- 8. Andronova M.M. The taxonomic composition and systematic dendroflora`s structure in Belozersk [Taksonomicheskii sostav i sistematicheskaia struktura dendroflory g.Belozerska]. Lesnoi zhurnal Forest magazine, 2016, no. 4, pp. 54–60.
- 9. Lysikov A.B. Issues of the winter hardiness of ornamental crops [K voprosu o zimostoikosti dekorativnykh kul'tur]. Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa Current problems of a forest complex, 2016, no. 44, pp. 39–43.
- 10. Matveeva R.N., Butorova O.F., Romanova A.B. Introduktsiia rastenii v dendrarii SibGTU [Introduction of plants in SibGTU arboretum]. Krasnojarsk, SibGTU, 2000, 194.
- 11. Oke T.R. City size and the urban heat island . Atmospheric Environment, 1973, no. 7, pp. 769–779.
- 12. Shumilov O.I. Urban Heat Island Investigations in Arctic Cities of Northwestern Russia. Journal of Meteorological Research, 2017, no. 31, pp. 1161–1162.
- 13. Babich N.A., Zalyvskaia O.S. Winter hardiness and frost resistance of exotic species [Zimostoikost' i morozoustoichivost' introdutsentov]. Lesnoi zhurnal Forest magazine, 2014, no. 1, pp. 105–110.
- 14. Malakhovets P.M., Tisova V.A. Derev'ia i kustarniki dendrosada AGTU [Trees and shrubs of ASTU arboretum]. Krasnojarsk, AGTU, 1999, 50.

УДК 631.432.32:58.051

### ВЛИЯНИЕ УКЛОНА МЕСТНОСТИ НА РАЗВИТИЕ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ И ЭРОЗИЮ ПОЧВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

Гочияева З.У., Гедиев К.Т., Токова Ф.М.

ФГБОУ ВО «Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия», Черкесск, e-mail: agrofb@yandex.ru

Корни изменяют свойства почвы в непосредственной близости от места их расположения. Тонкие корневые волоски (<1 мм в диаметре) мало влияют на свойства почвы, но так как они составляют большую часть общей длины корней растения, они могут оказывать воздействие на эрозионную стойкость почвы. Корни в поверхностном слое почвы могут влиять на эрозионную стойкость почвы в различном направлении. Уклон местности, на которой произрастает растение, влияет на рост корней. Исследование проводилось в условиях горной зоны Карачаево-Черкесской Республики, с целью оценки взаимовлияния таких факторов, как уклон местности, развитие корней, водная эрозия почвы. Почва на всех трех участках - мицеллярно-карбонатный предкавказский тяжелосуглинистый чернозем. Для этого проводились исследования в трех типах землепользования: занятой пар (вика + овес на зеленый корм), посев зерновой культуры (озимая пшеница), естественная древесная растительность. Для изучения корней в процессе вегетации использовали метод монолитов и траншейный метод со стеклянной стенкой. Для измерения плотности и длины корней мы использовали площадку площадью 1 м<sup>2</sup>. На таких же площадках исследовали особенности проникновения влаги к корневой системе, сток, смыв почвы и другие показатели. Было обнаружено, что коэффициент фильтрации увеличивается с уклоном, как под посевами, так и под паром. Наблюдается выраженная обратная зависимость между пространственной длиной корней и величиной уклона. Наиболее ярко эта зависимость наблюдалась в варианте с посевом озимой пшеницы. По мере увеличения уклона показатель снизился более чем в два раза.

Ключевые слова: корни, корневые волоски, плотность корней, длина корней, уклоны, смыв почвы, эрозия

# INFLUENCE OF THE SURFACE SLOPE ON THE DEVELOPMENT OF THE ROOT SYSTEM AND EARTH EROSION IN DEPENDENCE ON THE TYPE OF LAND USE

Gochiyaeva Z.U., Gediev K.T., Tokova F.M.

North-Caucasian State Humanitarian-Technological Academy, Cherkessk, e-mail: agrofb@yandex.ru

Roots change the properties of the soil in the immediate vicinity of their location. Thin root hairs (<1 mm

Roots change the properties of the soil in the immediate vicinity of their location. Thin root hairs (<1 mm in diameter) have little effect on soil properties, but since they form a large part of the total length of the plant roots, they can affect the erosion resistance of the soil. Roots, in the surface layer of the soil, can affect the erosion resistance of the soil in a different direction. The slope of the terrain on which the plant grows affects the growth of roots. The study was carried out in the conditions of the mountainous zone of the Karachaevo-Cherkess Republic in order to assess the mutual influence of such factors as the slope of the terrain, the development of roots, and water erosion of the soil. The soil in all three sections is a micellar-carbonate pre-Caucasian heavy loam black soil. To this end, studies were conducted in three types of land use: busy steam (vetch + oats for green fodder), sowing of cereals (winter wheat), and natural tree vegetation. To study the roots during the growing season, the monolith method and the trench method with a glass wall were used. To measure the density and length of the roots, we used an area of 1 m². At the same sites, we studied the features of moisture penetration to the root system, runoff, flushing of soil and other indicators. It was found that the filtration coefficient increases with a slope, both under crops and under steam. There is a pronounced inverse relationship between the spatial length of the roots and the magnitude of the slope. Most clearly this dependence was observed in the variant with sowing of winter wheat. As the slope increased, the indicator fell more than twofold.

Keywords: roots, root hairs, root density, root length, slopes, soil erosion, erosion

Роли и функции различных частей корневой системы варьируются в зависимости от вегетационного периода и местонахождения корней в корневой системе и относительно локальной почвенной среды [1]. Корни выполняют множество функций: сбор воды и питательных веществ, необходимых для роста растений, фиксация растений, аккумуляция воды, питательных веществ и органических веществ — поступающих в корни из надземной части растения. Корни также изменяют физико-химические

свойства почвы в непосредственной близости (ризосфера) с помощью таких процессов, как высвобождение сложных органоминеральных соединений, взаимодействие с почвенной микрофлорой или дыхание. Поскольку рост корней индуцирует в ризосфере множество изменений в физических и химических свойствах почвы, считается, что корни влияют и на эрозионную стойкость почвы.

При уклонах поверхности почвы направление и ориентация роста корней игра-

и выживания растений. Как следствие, величина уклона влияет на архитектуру корневой системы [2]. Так, ряд исследователей [2, 3] показали, что механическое напряжение, возникающее в корневой системе из-за надземной части растений метельника ситникового (Spartium junceum L.), растущих в контейнерах, установленных с углом наклона 100% (45°), вызвало увеличение общей длины корней по сравнению с растениями, выращенными в горизонтальных контейнерах, и что эта адаптация была связана с качественными и количественными изменениями содержания белка в клетках корней.

Цель исследований — выявить влияние корней на эрозию почвы и устойчивость почвы к смыву при различных уклонах местности. Мы также рассмотрели вероятную роль корней в борьбе с эрозией почв, сосредоточив внимание на развитии мелких корней вблизи поверхности почвы при различных способах землепользования и различных уклонах.

### Материалы и методы исследования

Водосбор расположен недалеко от поселка Кавказский, Прикубанского района КЧР, место исследования (координаты Google 44,2633283, 42,2488331) в 800 м от п. Кавказский и в 300 м от Кубанского водохранилища на территории землепользования учебно-опытного хозяйства СевКавГГТА (рис. 1).

Среднегодовое количество осадков составляет 650 мм/год, причем 70% осадков выпадает в течение вегетационного периода – с марта по ноябрь. Почва – мицеллярно-карбонатный предкавказский тяжелосуглинистый чернозем на лессовидных суглинках.

Корневой рост контролировался в трех местах: естественная древесная растительность, занятой пар и посев озимой пшеницы. Первое местоположение имело средний уклон 45% (24,23°) (вариации с 10 до 70%), второе – уклон 10% (5,71°) (вариации с 10 до 70%), третий участок – уклон 11% (6,28°) (вариации с 10 до 70%). Все участки расположены на высотах 610–620 м над уровнем моря. Для исследования развития корневой системы применялись два метода – метод траншеи и модифицированный метод почвенных монолитов (метод Н.А. Качинского) [4].

На исследуемых участках были установлены по два корневых окна (траншея, с одной стороны отделенная стеклом) до глубины почвы ~ 30 см. Рост корней отслеживался вручную, с помощью фотографирования. Верхняя часть окон была закрыта, в промежутки, между измерениями для предотвращения эффектов, вызванных фотофобией корня, крышкой из темного пластика.



Рис. 1. Водосбор Кубанского водохранилища

Изменения гранулометрического состава почвы с увеличением уклона

		J J J					
		I	Посев и занятой пар	d		Древесная растительность	стительность
Наименование механических элементов				Угол наклона, (%)			
	10	25	40	55	70	10	45
Тонкий ил, (%) (0,0001–0,0005 мм)	$20,72 \pm 1,49$	$21,6 \pm 1,82$	$19,85 \pm 1,37$	$21,51 \pm 2,13$	27,67 ± 1,92	28,53 ± 1,59	$26,45 \pm 1,62$
Грубый ил, (%) (0,0005—0,001 мм)	$9,55 \pm 0,75$	$7,84 \pm 0,49$	$6,13 \pm 0,58$	$4,99 \pm 0,63$	5,38 ± 1,05	9,48 ± 0,76	$8,66 \pm 0,84$
Мелкая пыль (0,001—0,005 мм)	$11,8 \pm 0,79$	$11,97 \pm 0,89$	$23,76 \pm 2,13$	$28,92 \pm 1,98$	24,74 ± 2,24	$12,88 \pm 0,96$	$6,65 \pm 0,54$
Средняя пыль (0,005—0,01 мм)	$6,72 \pm 0,64$	$5,33 \pm 0,68$	$6,94 \pm 0,47$	$4,75 \pm 0,41$	$9,81 \pm 0,72$	6,99 ± 0,79	$4,51 \pm 0,36$
Крупная пыль (0,01–0,05 мм)	$23,08 \pm 2,85$	$29,43 \pm 3,11$	$27,62 \pm 2,87$	$19,55 \pm 1,65$	$7,26 \pm 0,72$	14,63 ± 1,07	$6,03 \pm 0,41$
Мелкий песок, (%) (0,05–0,25 мм)	$13,7 \pm 1,11$	$11,01 \pm 0,98$	$6,32 \pm 0,38$	$5,67 \pm 0,48$	$6,67 \pm 0,66$	$10,01 \pm 0,94$	$10,65 \pm 0,67$
Средний песок (0,25–0,5 мм)	$2,4 \pm 0,17$	$3,14 \pm 0,12$	$1,98 \pm 0,22$	$2,44 \pm 0,13$	$1,66 \pm 0,21$	$2,46 \pm 0,23$	$1,61 \pm 0,18$
Крупный песок, (%) (0,5–1 мм)	$10,59 \pm 1,05$	$9,07 \pm 1,05$	$6,88 \pm 0,60$	$10,13 \pm 0,79$	14,48 ± 1,51	12,77 ± 1,02	17,93 ± 1,14
Гравий, (%) (1–3 мм)	$1,44 \pm 0,05$	$0.61 \pm 0.12$	$0.52 \pm 0.04$	$2,04 \pm 0,11$	$2,33 \pm 0,13$	$2,25 \pm 0,19$	$17,51 \pm 0,24$

Как для посевов озимой пшеницы, так и для посевов занятого пара (вико-овсяная смесь на зеленый корм) наблюдали рост корней при вариациях уклонов от 10 до 70%. Углы наклона, при которых брались монолиты, 10, 40 и 70%. Все монолиты были взяты в трех повторностях толщиной 5 см (0–5 см, исключая лесную подстилку в случае древесной растительности). Окна наблюдения за корневой системой были установлены под углами наклона 10, 25, 40, 55 и 70% (т.е. 5,7°, 14,04°, 21,80°, 28,81° и 34,99° соответственно). Всего было собрано и обработано 90 монолитов и осуществлено 60 измерений через корневые окна.

Корни тщательно отделялись от почвы с использованием специальной гидропневматической машины. После разделения корневые образцы хранили в разбавленной уксусной кислоте (5% раствор) при 6°С до тех пор, пока не будут измерены в лаборатории. Параметры, характеризующие рост корней, следующие: пространственное распределение длины корня, средний диаметр корня, масса воздушно-сухих корней и удельная длина корня.

Чтобы получить измерения длины и диаметра корней, сначала мы сканировали каждый вымытый образец корня с помощью планшетного сканера. Для этого корневые образцы помещались в стеклянный лоток той же ширины, что и окно сканера (размеры 210х300 мм) и глубиной около 30 мм. Перед каждым сканированием корневой образец осторожно переносили в лоток, наполовину заполненный водой.

Мониторинг инфильтрации, и смыва почвы. Для оценки стока и смыва почвы мы использовали учетные площадки размером 1 м<sup>2</sup>. Каждая площадка состояла из металлической рамы, частично вставленной в почву, чтобы создать граничную площадь поверхности почвы 1х1 м. За учетной площадкой (ниже по склону) была установлена емкость объемом 100 л, углубленная в почву, в которую собирался сток и смыв почвы. Вода, собранная из емкости после каждого дождя, использовалась для оценки объема стока и концентрации осадка в сточной воде. Кумулятивное количество осадков, измеренное почвенным дождемером (WatchDog 1120), сочеталось с измерениями учетной площадки, для получения коэффициента стока и инфильтрации.

Что касается инфильтрации / стока, то содержание воды в почве контролировалось два раза в неделю с помощью почвенного влагомера Aquaterr. Фильтрационная влага собиралась на глубине 100 см.

### Результаты исследования и их обсуждение

Плотность сложения почвы составляла в среднем 1,15 г/см³ под посевом и занятым паром и 1,22 г/см³ под древесной растительностью, без значимого изменения по склону. Все измеренные почвы по гранулометрическому составу соответствовали тяжелосуглинистым с преобладанием фракции физической глины (частицы менее 0,01 мм) от 42 до 68 % (таблица).

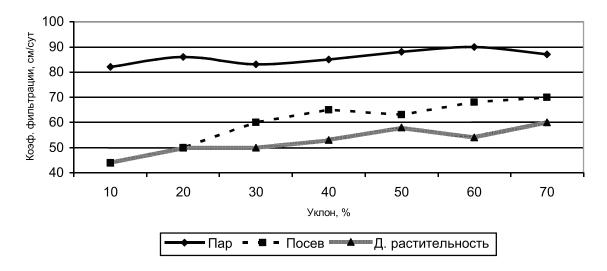


Рис. 2. Изменение коэффициента фильтрации (в слое 0–100 см) в зависимости от угла наклона в условиях посева, занятого пара и древесной растительности, (см/сут)

Не было существенной разницы в содержании средней и крупной фракций песка и гравия с увеличением величины уклона. Содержание тонкого ила и мелкой пыли имело достоверную тенденцию к росту (соответственно с  $20,72\pm1,49$  до  $27,67\pm1,92\%$  и с  $11,8\pm0,79$  до  $24,74\pm2,24\%$ ). Изменения в содержании грубого ила и средней пыли были недостоверны (таблица).

Другие измеренные параметры почвы (органический углерод, общий N и отношение C/N), как правило, увеличивались с увеличением угла наклона под посевом, тогда как в условиях занятого пара наблюдалась противоположная тенденция.

Было обнаружено, что коэффициент фильтрации увеличивается с уклоном, как под посевами, так и под паром (рис. 2). Наибольший коэффициент фильтрации ожидаемо наблюдался на занятом паре (колебания в зависимости от уклона 82–90 см/сут). Влияние уклона также отразилось на коэффициенте фильтрации в посевах озимой пшеницы и в условиях древесной растительности, однако в меньшей степени, чем в условиях пара. Наибольший коэффициент фильтрации был достигнут при наибольшем уклоне (70 см/сут в случае посева озимой пшеницы и 61 см/сут в случае древесной растительности).

Анализ монолитов, собранных в течение 5 месяцев исследования роста корней, показал значительные различия между пространственным распределением длины корней, в зависимости от типа землепользования (рис. 3).

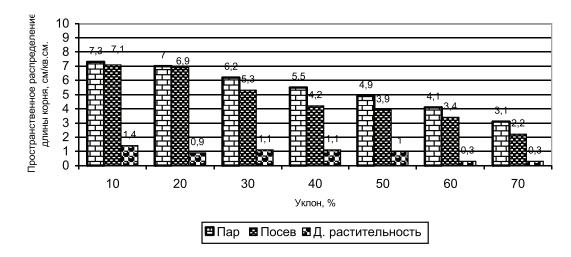


Рис. 3. Изменение пространственного распределения корней в зависимости от уклона и типа землепользования

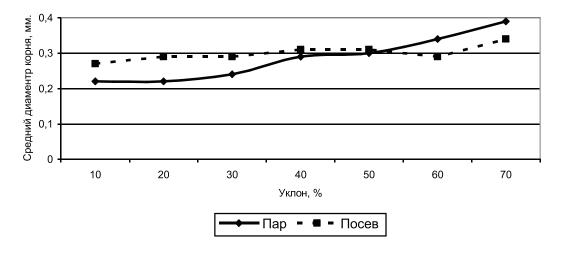


Рис. 4. Изменение среднего диаметра корня в зависимости от уклона местности

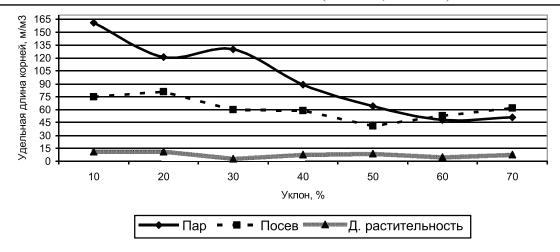


Рис. 5. Изменение удельной длины корня в зависимости от уклона местности

Наблюдается выраженная обратная зависимость между пространственной длиной корней и величиной уклона. Наиболее ярко эта зависимость наблюдалась в варианте с посевом озимой пшеницы. По мере увеличения уклона с 10 до 70% показатель снизился с 7,3 до 3,1 см/см<sup>2</sup>, или более чем в два раза. Аналогичная тенденция наблюдалась в варианте занятого пара - произошло снижение с 7,1 до 2,2 см/см<sup>2</sup>. В случае древесной растительности такого выраженного эффекта не наблюдалось вплоть до уклона в 50% (показатели колебались от 1,4...1,0 см/см<sup>2</sup> – разница статистически недостоверна). Однако с дальнейшим увеличением уклона - до 70% - произошло резкое уменьшение длины корней в расчет на площадь корневого окна – до 0,3 см/см<sup>2</sup>.

Диаметры корней и удельная длина корней. В посевах озимой пшеницы средний диаметр корня значительно (p < 0.05) увеличился с  $0.27 \pm 0.034$  до  $0.34 \pm 0.06$  мм (рис. 4) с увеличением угла наклона.

Эти тенденции были подтверждены средними измерениями длины корней (рис. 5), которые уменьшились с  $77,04 \pm 48,22$  до  $37,82 \pm 25,34$  м/м³ и  $106,92 \pm 55,24$  до  $36,41 \pm 19,66$  м/м³ в занятом паре и посеве озимой пшеницы соответственно, поскольку угол наклона увеличился от 10 до 70%.

Мы выявили, что однолетние (озимая пшеница) и многолетние виды (древесные растения) растений развивают плотные сети тонких волокнистых корней вблизи поверхности почвы, тогда как плотность укоренения обычно имеет тенденцию к уменьшению с увеличением глубины почвы, аналогичные результаты (максимальное нарастание корневой системы в слое почвы

0–20 см) были получены в исследованиях ряда ученных [5]. Увеличение уклона местности значительно влияет на гранулометрический состав, в частности происходит вымывание вниз по склону ряда фракций (крупный песок, тонкий ил), эти результаты коррелируют с данными Г.А. Ларионова, О.Г. Бушуевой и других ученых [1].

Наши исследования подтвердили, что тонкие корни локально связывают почву и, уменьшая эрозию почвы, повышают устойчивость верхнего слоя почвы. Данная функция корневой системы общеизвестна и находит подтверждение во многих исследованиях, например в работах В.Г. Гребенникова и И.А. Шипилова [2], Однако данное свойство корневой системы находится в сложной зависимости от типа почвы (чем тяжелее почвы, тем выражениее противоэрозионное влияние корней) и видов растений (максимальный эффект наблюдается у посевов многолетних трав [2, 3], минимальный эффект – древесные растения), Поэтому увеличение плотности корневой системы может и не иметь выраженного влияния на устойчивость почвы к смыву в случае песчаных и супесчаных почв [6].

### Выводы

Таким образом, уклон местности оказывает значительное влияние на гранулометрический состав почвы — имеется выраженная тенденция к накоплению физической глины и ила на участках с уклонами более 40%. Было обнаружено, что коэффициент фильтрации увеличивается с уклоном, как под посевами, так и под паром. Наибольший коэффициент фильтрации был достигнут при наибольшем уклоне. Наблюдается выраженная обратная

зависимость между пространственной длиной корней и величиной уклона. Наиболее ярко эта зависимость наблюдалась в варианте с посевом озимой пшеницы. По мере увеличения уклона с 10 до 70% показатель снизился с 7,3 до 3,1 см/см², или более чем в два раза.

### Список литературы

- 1. Влияние физических свойств почв на разрушение межагрегатных связей при эрозии почв / Г.А. Ларионов, О.Г. Бушуева, А.В. Горобец [и др.] // Эволюция эрозионнорусловых систем, её хозяйственно-экономические и экологические последствия, прогнозные оценки и учёт. Доклади и сообщения Всероссийской научно-практической конференции и XXXII межвузовского координационного совещания. М., 2017. С. 162–164.
- 2. Гребенников В.Г., Шипилов И.А. Многолетние травы как фактор защиты почв от эрозии и повышения почвенного плодородия каштановых почв // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. Ставрополь. 2010. Т. 3. № 1. С. 68–71.
- 3. Мирхайдарова Г.С., Бекмурадова Ф.К.Б. Изменение некоторых показателей почв под воздействием эрозии и роль биомассы по защите почвы // Биоэкономика и экобиополитика. -2016. № 2 (3). С. 105–107.
- 4. Рожков В.А., Кузнецова И.В., Рахматуллоев Х.Р. Методы изучения корневых систем растений в поле и лаборатории. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. 51 с.
- 5. Травникова Л.С., Артемьева З.С., Сорокина Н.П. Распределение гранулоденсиметрических фракций в дерновоподзолистых почвах, подверженных плоскостной эрозии // Почвоведение. 2010. N2 4. C. 495–504.
- 6. Chiatante D., Sarnataro M., Fusco S., Di Iorio A., Scippa G.S. Modification of root morphological parameters and root architecture in seedlings of Fraxinus ornus L. and Spartium junceum L. growing on slopes. Plant Biosystems, 2003, no. 137, pp. 47–56.

### References

1. Larionov G.A., Bushueva O.G., Gorobets A.V., Dobrovol'skaia N.G., Kiriukhina Z.P., Kiriukhina Z.P., Krasnov S.F., Litvin L.F. Vliianie fizicheskikh svoistv pochv na raz-

- rushenie mezhagregatnykh sviazei pri erozii pochv [Influence of physical properties of soils on the destruction of inter-aggregate bonds in soil erosion]. Evoliutsiia erozionno-ruslovykh sistem, ee khoziaistvenno-ekonomicheskie i ekologicheskie posledstviia, prognoznye otsenki i uchet. Doklady i soobshcheniia Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii i XXXII mezhvuzovskogo koordinatsionnogo soveshchaniia (g. Ufa, 3–6 oktiabria 2017 g.) [Proceedings of Evolution of erosion-channel systems, its economic, economic and environmental consequences, forecast estimates and accounting. Reports and reports of the All-Russian Scientific and Practical Conference and the XXXII Interuniversity Coordination Meeting (Ufa, October 3–6, 2017)], Aeterna, 2017, pp. 162–164.
- 2. Grebennikov V.G., Shipilov I.A. Perennial herbs as a factor of soil protection from erosion and increase of soil fertility of chestnut soils [Mnogoletnie travy kak faktor zashchity pochv ot erozii i povysheniia pochvennogo plodorodiia kashtanovykh pochv ]. Sbornik nauchnykh trudov Vserossiiskogo nauchnoissledovatel'skogo instituta ovtsevodstva i kozovodstva Collection of scientific works of the All-Russian Scientific Research Institute of Sheep and Goat Production, 2010, no. 3, pp. 68–71.
- 3. Mirkhaidarova G.S., Bekmuradova F.K.B. Change of some indicators of soils under the influence of erosion and the role of biomass on soil protection [Izmenenie nekotorykh pokazatelei pochv pod vozdeistviem erozii i rol' biomassy po zashchite pochvy]. Bioekonomika i ekobiopolitika Bioeconomics and eco-biopolitics, 2016, no. 2, pp. 105–107.
- 4. Rozhkov V.A., Kuznetsova I.V., Rakhmatulloev Kh.R. Metody izucheniia kornevykh sistem rastenii v pole i laboratorii. M.: GOU VPO MGUL, 2008. 51 p. [Methods of studying of root systems of plants in the field and laboratory]. Moscow, GOU VPO MGUL, 2008, 51.
- 5. Travnikova L.S., Artem'eva Z.S., Sorokina N.P. Distribution of granulodensimetrichesky fractions in the cespitose and podsolic soils subject to a plane erosion [Raspredelenie granulodensimetricheskikh fraktsii v dernovo-podzolistykh pochvakh, podverzhennykh ploskostnoi erozii]. Pochvovedenie Soil science, 2010, no. 4, pp. 495–504.
- 6. Chiatante D., Sarnataro M., Fusco S., Di Iorio A., Scippa G.S. Modification of root morphological parameters and root architecture in seedlings of Fraxinus ornus L. and Spartium junceum L. growing on slopes. Plant Biosystems, 2003, no. 137, pp. 47–56.

УДК 630\*432.331:614.841.4

# ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЫСТРОТВЕРДЕЮЩЕЙ ПЕНЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ОТ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ

<sup>1</sup>Кректунов А.А., <sup>2</sup>Залесов С.В., <sup>1</sup>Хабибуллин А.Ф.

<sup>1</sup>ΦΓБΟУ ВО «Уральский институт ГПС МЧС России», Екатеринбург, e-mail: alexkrec96@mail.ru; <sup>2</sup>ΦΓБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург, e-mail: Zalesov@usfeu.ru

На основе литературных данных и материалов собственных исследований предпринята попытка определения перспективности использования быстротвердеющей пены при тушении природных пожаров. Отмечается, что в связи с увеличением показателей фактической горимости лесов, вызванной изменением климата как в нашей стране, так и за ее пределами, участились случаи перехода огня природных пожаров в населенные пункты и даже гибели людей. Ущерб от природных пожаров составляет миллионы долларов. Для защиты населенных пунктов от природных пожаров используются различные химические вещества. В частности, в последние годы для тушения природных пожаров используется система пожаротушения NATISK, создающая компрессионную пену. Указанная пена сокращает расход воды на тушение, а по причине высокой липучести создает пенное покрытие даже на вертикальных поверхностях. Особо следует отметить, что компрессионная пена может использоваться как для тушения кромки пожара, так и для создания опорных и заградительных полос. Новым шагом при тушении природных пожаров является применение быстротвердеющей пены. Указанная полимеризованная кремнеземная пена наряду с липучестью обладает очень высокой стойкостью, что позволяет создавать пенное покрытие не только на древесной, кустарниковой и травянистой растительности, но и на зданиях и сооружениях на период до выпадения осадков. По эффективности быстротвердеющая пена превосходит воду в 50 раз, а пены, созданные на основе обычных пенообразователей, в 15 раз. Анализ данных о быстротвердеющей пене позволяет рекомендовать ее для широкого применения при защите населенных пунктов от природных пожаров.

Ключевые слова: природный пожар, лесной пожар, ликвидация пожара, защита населенных пунктов, компрессионная пена, быстротвердеющая пена

### PERSPECTIVE OF FAST CURING FOAM APPLICATION FOR POPULATED AREAS PROTECTION FROM NATURE FIRES

<sup>1</sup>Krektunov A.A., <sup>2</sup>Zalesov S.B., <sup>1</sup>Khabibullin A.F.

<sup>1</sup>Ural Institute of State Fitr Service of EMERCOM of Russia, Ekaterinburg, e-mail: alexkrec96@mail.ru; <sup>2</sup>Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, e-mail: Zalesov@usfeu.ru

Based on the literature data and materials of our own research, an attempt was made to determine the prospects for using fast-hardening foam in extinguishing wildfires. It is noted that, in connection with the increase in the indicators of the actual burning of forests caused by climate change both in our country and outside it, there have been more cases of the transition of fire from natural fires to populated areas and even death of people. The damage from wildfires is millions of dollars. Various chemicals are used to protect human settlements from natural fires. In particular, in recent years, the fire extinguishing system NATISK has been used to extinguish wildfires, creating a compression foam. This foam reduces the water consumption for quenching, and because of high stickiness, it creates a foam coating even on vertical surfaces. Especially it should be noted that the compression foam can be used both for extinguishing the edge of the fire, and for creating support and barrier strips. A new step in extinguishing wildfires is the use of fast-hardening foam. This polymerized silica foam along with the stickiness has very high resistance, which makes it possible to create a foam coating not only on woody, shrubby and grassy vegetation, but also on buildings and structures for the period before precipitation. By efficiency, the fast-hardening foam is 50 times greater than water, and the foam, created on the basis of conventional foaming agents, is 15 times. Analysis of data on fast-hardening foam makes it possible to recommend it for wide application in protecting human settlements from natural fires.

Keywords: native fire, forest fire, fire suppression, populated area protection, compressed foam, fast-hardening foam

В последние десятилетия, в связи с изменением климата, наблюдается резкое увеличение количества природных пожаров. Несмотря на предпринимаемые усилия по совершенствованию способов и средств тушения природных пожаров изменить ситуацию в лучшую сторону не удается. Так, только на территории лесного фонда Российской Федерации ежегодно возникает до 35 тыс. лесных пожаров, а пройденная

ими площадь в отдельные годы превышает 2,5 млн га. По официальным данным Рослесхоза ущерб от лесных пожаров ежегодно составляет около 20 млрд руб. [1].

Особо следует отметить, что лесные пожары нередко «приходят» в населенные пункты, уничтожая не только промышленные и жилые объекты, но и создавая реальную опасность для жизни населения. Так, в 2010 г. в результате лесных пожаров более

2,5 тыс. семей осталось без крова и более 60 человек погибло в огне или отравилось продуктами горения. Весной 2017 в Красноярском крае и Иркутской области в результате лесных пожаров и горения сухой травы в 10 населенных пунктах было уничтожено 179 жилых домов, в которых проживало 720 человек, 6 объектов экономики и 15 нежилых строений [2].

Проблема охраны населенных пунктов от лесных пожаров остро стоит не только в Российской Федерации, но и во многих других странах. В 2016 г. лесные пожары нанесли значительный ущерб населенным пунктам Испании и Португалии. На острове Мадейра они унесли жизни четырех человек, еще порядка 80 было госпитализировано с ожогами разной степени тяжести и отравлением угарным газом. Пламя уничтожило порядка 30 строений, среди них три гостиницы, в том числе пятизвездочный отель. Сильнее всего стихия ударила по курорту Ла Мальма. Из-за угрозы распространения огня было эвакуировано более 2,5 тысяч человек [3].

В 2016 г. от лесных пожаров также сильно пострадали населенные пункты и другие объекты в Канаде. Пожар начался 1 мая 2016 г. недалеко от Форта- Мак-Мюррэй (провинция Альберта). 3 мая он прошел через населенные районы, уничтожив около 2400 строений, и привел к крупнейшей эвакуации населения в истории провинции Альберта [1].

Таким образом, защита населенных пунктов от природных пожаров стала одной из важнейших задач современности. Последнее обусловливает необходимость поиска путей совершенствования способов тушения за счет применения новых средств тушения.

Целью исследований являлось установление возможности использования быстротвердеющей пены при охране населенных пунктов от природных пожаров.

#### Материалы и методы исследования

Были проанализированы результаты исследований по проблеме повышения эффективности охраны населенных пунктов от природных пожаров. Эффективность использования быстротвердеющей пены сравнивалась с эффективностью использования воды и компрессионной пены.

В процессе исследований подбирались смежные участки, близкие по видовому составу и надземной фитомассе живого напочвенного покрова. Участки были равной

величины и в натуре закреплялись кольями. Затем один из участков обрабатывался быстротвердеющей пеной с использованием огнетушителя ВП-50 СКДП из расчета  $0.5\,$  л/м². Аналогичный участок обрабатывался компрессионной пеной с использованием системы пожаротушения NATISK с той же дозировкой, а третий — водой из ранцевого огнетушителя из расчета  $0.5\,$  л/м². Опыт производился в трехкратной повторности. Затем осуществлялся мониторинг за пожарным созреванием напочвенных горючих материалов на обработанных участках.

Особое внимание в работе уделено анализу научной и ведомственной литературы по проблеме использования быстротвердеющей пены.

### Результаты исследования и их обсуждение

Одним из способов совершенствования охраны населенных пунктов от природных пожаров является использование воздушномеханической пены. Ее можно использовать для прокладки заградительных и опорных полос, а также непосредственного тушения огня. Перспективным способом в этом направлении представляется применение компрессионной пены, так как она обладает повышенной стойкостью и способностью налипать на лесные горючие материалы и постройки в населенных пунктах [4]. Полевским заводом «Спецавтотехника» налажен выпуск систем пожаротушения NA-TISK, способных создавать как «сухую», так и «мокрую» компрессионную пену, т.е. пену с соотношением воды (раствора пенообразователя) и воздуха 1:20 и 1:5 соответственно. Указанная пена создается в системе пожаротушения NATISK за счет воздействия на раствор, содержащий пенообразователь, воздуха под высоким давлением. Благодаря ячеистой структуре пена надежно обволакивает лесные горючие материалы, препятствуя притоку воздуха к объектам горения (рисунок). Кроме того, за счет липучести пена не стекает даже с вертикальных поверхностей горючих материалов, что минимизирует ее расход. Известно, что основная масса воды, используемой при тушении лесных пожаров, стекает с горючих материалов, не смачивая их, по причине высокого поверхностного натяжения. Другими словами, тушение лесных пожаров водой значительно менее эффективно, чем тушение воздушно-механической компрессионной пеной. Последнее особенно важно, если учесть слабую освоенность лесного фонда транспортной сетью и удаленность лесопожарных водоемов друг от друга. Компрессионная пена экологически безопасна и в природной среде быстро разрушается на инертные вещества. Не случайно интерес служб пожаротушения к компрессионной пене в последние годы резко увеличивается.

В то же время технологии пожаротушения постоянно развиваются. В частности, в практику пожаротушения входит быстротвердеющая пена (БТП).

В.В. Богданова с соавторами [5] предлагает использовать при тушении пожаров напыление пенополиуретана марки «Изолан 125». В результате серии лабораторных, установочных и полигонных испытаний установлено наличие огнезащитного эффекта трудногорючего пенополиуретана для ограничения распространения пожара по кабельным шахтам гражданских зданий. Полученный состав возможно применять для предотвращения распространения горения в ограниченном пространстве, но в деле защиты населенных пунктов от природных пожаров, когда огонь движется большим фронтом, его применение, на наш взгляд, не будет эффективно.

Специалистами общества с ограниченной ответственностью научно-производственного объединения «Современное оборудование пожаротушения» (ООО НПО «СОПОТ») разработано средство пожаротушения с использованием новейшей технологии пожаров — взрывопредотвращения твердых и жидких горючих материалов. Технология является разработкой ООО НПО «СОПОТ» и получила название «Специализированная двухкомпонентная композиция

для пожаротушения» (СДКП), состоящая из компонента А и компонента Б. Новый метод позволяет осуществлять контролируемое твердение пены в интервале от 2 до 30 с.

Химическая структура и иерархическая морфология позволяют развивать термо-изолирующую способность пен до значения удельной теплоемкости более 2,5 кДж/(кг•°С). Свойства данной пены позволяют достичь удельного расхода огнетушащего средства при тушении пожаров на уровне 1 л/м² по сравнению с 5 л/м² огнетушащего средства, основанного на штатном серийно выпускаемом поверхностно-активном веществе (ПАВ) [6]. В связи с вышеизложенным применение указанной технологии в деле защиты населенных пунктов от природных пожаров представляется нам целесообразным.

Преимущества быстротвердеющей пены для тушения твердых горючих материалов (далее - ТГМ) изложены в статье Д.С. Куприна [7], среди всех прочих автор выделяет повышенную растекаемость, смачиваемость и кроющую способность поверхности, а также большую адгезионную способность к поверхности почти всех видов ТГМ, что позволяет создавать на них устойчивый слой пены толшиной 3-5 cm даже на вертикальных и горизонтальных («потолочных») поверхностях. Покрытые пеной ТГМ не воспламеняются даже под действием пламени газовой горелки с температурой пламени более 1000 °C в течение 3–5 минут. Кроме того, слой пены сохраняет свой объем, форму и огнезащитные свойства в течение нескольких дней.



Живой напочвенный покров, покрытый компрессионной пеной

В отличие от обычных пен, которые под воздействием пламени достаточно быстро испаряются, быстротвердеющая пена при нагреве не разрушается. В процессе испарения воды кристаллизация аморфных частиц кремнезема усиливается и образующийся каркас становится лишь прочнее и надежнее защищает обработанный объект [8].

При тушении непосредственно кромки природного пожара, а также создании опорных и заградительных полос очень важно иметь объективные данные об экологичности применяемых химических веществ. Известно [9], что быстротвердеющая пена содержит кремнезём и обладает возможностью впитывать воду, в том числе и из воздуха. Последнее, особенно при смачивании слоя пены, приводит к ее размягчению и в конечном счете механическому разрушению. Другими словами, быстротвердеющая пена является быстроразлагающейся, а содержащиеся в ней ингредиенты, в частности кремнезем, представляют собой химически инертные и экологически безопасные вещества. При этом не следует забывать, что при низкой влажности воздуха и отсутствии смачивания быстротвердеющая пена надежно защищает горючие материалы в течение периода до выпадения обильных осадков. Такие качества пены при ее правильном использовании обеспечивают ее широкое применение при защите населенных пунктов от природных пожаров.

Высокая эффективность процесса тушения ТГМ быстротвердеющей пеной на основе структурированных частиц кремнезёма объясняется синергетическим усилением трёх основных механизмов огнетушащего действия, к которым добавляется четвёртый: препятствие выхода продуктов пиролиза древесины в зону горения ещё до того, как температура прогретых слоёв ТГМ снизится ниже температуры начала их пиролиза.

Установлено, что пена хорошо растекается по поверхности ТГМ в первые секунды её контакта с поверхностью ТГМ. Также она обладает высокой удельной теплопоглощающей способностью (от 2600 до 1500 кДж/л) в процессе перехода от жидкого состояния в гелеобразное, а затем и в твёрдое. При этом быстротвердеющая пена успевает отвести от поверхности горящего ТГМ 1000–1250 кДж/м² за оптимальное время её отверждения (30–40 с). Отвердевшая пена переходит по стойкости в категорию «бесконечно – живущих» и обладает большим коэффициентом адгезии.

Применение в качестве огнетушащего средства пен кратностью 10–20 снижа-

ет потери, удельный расход огнетушащих средств (ОС) на тушение пожаров и время их тушения — на 25–30% [10]. Также перспективным направлением в этой сфере является применение различных смачивателей. Тушение с применением загустителей воды или смачивателей типа патентованного зарубежного пенообразователя АFFF позволяет снизить удельный расход ОС и время тушения пожара примерно в 2 раза по сравнению с тушением обычной водой [11].

Применение БТП по показателю эффективности пожаротушения, показывающему, какая площадь тушится 1 л ОС за единицу времени, превосходит применение воды практически в 50 раз, пены на основе пенообразователя типа AFFF – в 15 раз [12].

Огнезадерживающие свойства БТП испытывались не только в лабораторных условиях, но и при проведении натурных исследований в условиях лесной растительности [13]. В ходе лётных исследований противопожарные заградительные полосы прокладывались с воздуха огнестойкой быстротвердеющей пеной с помощью разработанного НПО «СОПОТ» вертолётного водосливного устройства (ВВСУ), расположенного на внешней подвеске вертолёта МИ-8МТВ. Кроме того, проводились полевые испытания ранцевого огнетушителя ВП-50-СДКП, передвижного пожарного модуля и ранцевого устройства пожаротушения с УКТП «Пурга-2», разработанных для тушения кромки пожара пеной, в том числе быстротвердеющей.

В ходе натурных экспериментов исследовались огнезадерживающие свойства противопожарных заградительных полос, созданных огнестойкой быстротвердеющей пеной. Эксперименты проводились при III классе пожарной опасности по условиям погоды в наиболее пожароопасных типах леса: сосняки лишайниковый и вересковый. Проведенные исследования показали, что разработанные вертолётные и наземные технические средства, предназначенные для прокладки пенных заградительных полос в лесах, могут создавать противопожарные полосы из огнестойкой быстротвердеющей пены различной длины и ширины с требуемой поверхностной плотностью пены. Быстротвердеющая пена хорошо защищает от огня кроны древостоя, препятствуя переходу низового пожара в верховой. В ходе лётных и наземных натурных испытаний зафиксированы высокие адгезионные свойства быстротвердеющей пены по отношению к лесным горючим материалам.

Таким образом, применение быстротвердеющих пен при защите населенных пунктов от природных пожаров имеет очень широкие перспективы. БТП более устойчива и огнестойка в сравнении с воздушно-механической и компрессионной пеной.

Использование БТП при защите населенных пунктов от природных пожаров можно реализовать по следующим направлениям:

- 1. Создание заградительных полос по всему фронту надвигающегося на населенный пункт природного пожара.
- 2. Создание опорных полос для проведения отжига при тушении природных пожаров, приближающихся к населенным пунктам.
- 3. Обработка близлежащих к лесному массиву построек населенного пункта БТП для предупреждения их возгорания от огня природного пожара.
- 4. Обработка лесной растительности и деревьев перед населенным пунктом для предотвращения перехода низового пожара в верховой, а также остановки верхового пожара.

Использование быстротвердеющих пен в сочетании с системой противопожарного устройства позволит эффективно защитить населенные пункты от природных пожаров.

#### Список литературы

- 1. Кректунов А.А., Залесов С.В. Охрана населенных пунктов от природных пожаров. – Екатеринбург: Урал. ин-т ГПС МЧС России, 2017. – 162 с.
- 2. Горим и тонем [Электронный ресурс]: Российская газета. 29.05.2017. Вып. № 7280 (114). Режим доступа: https://rg.ru/2017/05/29/reg-skfo/v-krasnoiarskom-krae-i-irkutskoj-oblasti-podveli-itogi-pozharov.html (дата обращения: 15.04.2018).
- 3. Горящий сезон [Электронный ресурс]: Российская газета. 11.08.2016. Вып. № 7047 (179). Режим доступа: https://rg.ru/2016/08/11/na-iuge-evropy-lesnye-pozhary-vyshliiz-pod-kontrolia.html (дата обращения: 15.04.2018).
- 4. Кректунов А.А. Научное обоснование системы охраны населенных пунктов от лесных пожаров на Среднем Урале: дис. ... канд. с.-х. наук; специальность 06.03.03. Екатеринбург, 2016. – 182 с.
- 5. Богданова В.В., Тихонов М.М., Мамедов А.М. Быстротвердеющие полимерные пены для ограничения распространения и тушения пожаров // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2016. – № 2 (24). – С. 4–9.
  6. Быстротвердеющая пена – новейшая технология взры-
- во-пожаропредотвращения [Электронный ресурс]: официальный сайт НПО «Сопот». Режим доступа: http://sopot.ru/ russian/nov tehn 15.html (дата обращения: 15.04.2018).
- 7. Куприн Д.С. Прорывная технология пожаро-взрывопредотвращения с помощью быстротвердеющих пен на основе структурированных частиц кремнезема / Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. - 2016. - Т. 1. № 1(7). – C. 326–327.
- 8. Ерицов А.М. Совершенствование технологий создания заградительных и опорных полос при тушении лесных пожаров в зонах авиационных работ: дис. ... канд. с.-х. наук. – Екатеринбург, 2017. – 215 с.

  9. ГОСТ 32509-2013 Вещества поверхностно-актив-
- ные. Метод определения биоразлагаемости в водной сре-де. Введ. с 22.11.2013. М.: Стандартинформ, 2014. 26 с.
- 10. Vinogradov A.V. Silica foams for fire prevention and fire-fighting / D.S. Kuprin, I.M. Abduragimov, G.N. Kuprin, E. Serebriya-kov, V.V. Vinogradov // ACS (American Chemical Society), Applied
- materials & interfaces, 13 January 2016, vol. 8 (1), pp. 294–301.

  11. Абдурагимов И.М. Прорывные технологии ликвидации лесных пожаров / Г.Н. Куприн, А.В. Виноградов,

- Д.С. Куприн, В.В. Виноградов // Лесной комплекс Сибири. 2015.  $\cancel{N}$  5. С. 80–85.
- 12. Абдурагимов И.М., Куприн Г.Н., Куприн Д.С. Быстротвердеющие пены новая эра в борьбе с лесными пожарами / Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2016. № 2. С. 7–13.
- 13. Результаты натурных исследований огнезадерживающих свойств противопожарных пенных полос долговременного действия и средств для их прокладки / В.Г. Гусев [и др.] // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. — 2016. — № 3. — C. 50–63. DOI: 10.21178/2079-6080.2016.3.50.

#### References

- 1. Krektunov A.A., Zalesov S.V. Okhrana naselennykh punktov ot prirodnykh pozharov [Protection of settlements from wildfires]. Ekaterinburg: Ural. In-t GPS MChS Rossii, 2017, 162.
- 2. Borisov T. Gorim i tonem: Rossiiskaia gazeta. 29.05.2017. № 7280 (114). [We burn and sink, Russian newspaper. 5.29.2017. No. 7280 (114).]. Available at: https://rg.ru/2017/05/29/reg-skfo/v-krasnoiarskom-krae-i-irkutskojoblasti-podveli-itogi-pozharov.html (accessed 15.04.2018)
- 3. Fediakina A. Goriashchii sezon: Rossiiskaia gazeta. 11.08.2016. № 7047 (179) [The burning season. Russian newspaper. 8.11.2016. No. 7047 (179)]. Available at::https:// rg.ru/2016/08/11/na-iuge-evropy-lesnye-pozhary-vyshli-iz-pod-kontrolia.html (accessed 15.04.2018).
- 4. Krektunov A.A. Nauchnoe obosnovanie sistemy okhrany naselennykh punktov ot lesnykh pozharov na Srednem Urale: dis. kand. s.-kh. nauk [Scientific justification of system of protection of settlements from wildfires on Central Ural Mountains: thesis of the candidate of agricultural sciences]. Ekaterinburg, 2016, 182.
- 5. Bogdanova V.V., Tikhonov M.M., Mamedov A.M. Fast-curing polymer foams for the limit of spread and extinguishing of fires [Bystrotverdeiushchie polimernye peny dlia ogranicheniia rasprostraneniia i tusheniia pozharov]. Vestnik Universiteta grazhdanskoi zashchity MChS Belarusi – Vestnik of the University of Civil Protection of the MES of Belarus, 2016, vol. 24, no. 2, pp. 4-6.
- 6. Bystrotverdeiushchaia pena noveishaia tekhnologia vzryvo-pozharopredotvrashcheniia [Fast-hardening foam The newest technology of fire and explosion prevention]. Available at: http://so-pot.ru/english/nov\_tehn\_15.html (accessed 15.04.2018).
- 7. Kuprin D.S. Breakthrough technology of a pozharo-vzryvopredotvrashcheniye by means of quick-hardening foams on the basis of the structured silicon dioxide particles [Proryvnaia tekhnologiia pozharo-vzryvopredotvrashcheniia s pomoshch'iu bystrotverdeiushchikh pen na osnove strukturirovannykh chastits kremnezema]. Pozharnaia bezopasnost': problemy i perspektivy – Fire safety: problems and prospects, 2016, vol. 7, no. 1, pp. 326–327.

  8. Eritsov A.M. Sovershenstvovanie tekhnologii sozdaniia
- zagraditel'nykh i opornykh polos pri tushenii lesnykh pozharov v zonakh aviatsionnykh rabot: dis. kand. s.-kh. nauk. [Improvement of technologies of creation of protecting and basic strips at suppression of wildfires in zones of aviation works: thesis of the candidate of agricultural sciences]. Ekaterinburg, 2017, 215.
- 9. GOST 32509-2013 surfactants. A method of determination of biodegradability in the water environment. - Vved. With 11/22/2013. - M.: Standartinform, 2014. - 26 p.
- 10. Vinogradov A.V., Kuprin D.S., Abduragimov I.M., Kuprin G.N., Serebriyakov E., Vinogradov V.V. Silica Foams for Fire Prevention and Firefighting. ACS. Applied materials and interfaces, 2016, vol. 8, no. 1, pp. 294–301.

  11. Abduragimov I.M., Kuprin G.N., Vinogradov A.V., Kuprin D.S., Vinogradov V.V. Breakthrough technologies of elimination of wildfires [Proryvnye tekhnologii likvidatsii lesnykh
- pozharov]. Lesnoi kompleks Sibiri Lesnoy complex of Siberia, 2015, no. 5, pp. 80–85
- 12. Abduragimov I.M., Kuprin G.N., Kuprin D.S. Fasthardening foams, a new era in fighting forest fires [Bystrotverdeiushchie peny - novaia era v bor'be s lesnymi pozharami]. Pozhary i chrezvychainye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiia – Landscape Fires, 2016, no. 2, pp. 7–13.
- 13. Gusev V.G., Gutsev N.D., Kuprin G.N., Kuprin D.S., Eritsov A.M., Stepanov V.N. The results of field studies of fire-retardant properties of firefighting foam strips long-term actions and tools to create them [Rezul'taty naturnykh issledovanii ognezaderzhivaiushchikh svoistv protivopozharnykh pennykh polos dolgovremennogo deistviia i sredstv dlia ikh sozdaniia]. Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khoziaistva ceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute, 2016, no. 3, pp. 50–63. DOI: 10.21178/2079-6080.2016.3.50.

УДК 631.452:504.54:631.582

### ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ ПОД РАСТИТЕЛЬНЫМИ ЦЕНОЗАМИ АГРОЛАНДШАФТА

Медведев И.Ф., Бузуева А.С., Губарев Д.И., Верин А.Ю.

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока», e-mail: squirel-rush@mail.ru

С учетом гидротермического коэффициента вегетационного периода были выделены 3 погодных типа – засушливый ( $\Gamma$ TK = 0,4), увлажненный ( $\Gamma$ TK = 1,1) и влажный ( $\Gamma$ TK = 1,4). В условиях сильной засухи запас почвенной влаги был ниже на 61% относительно условий повышенной влагообеспеченности. С повышением уровня запасов влаги в почве отмечается лучшее использование нитратного азота. Распределение влаги и элементов питания по фазам вегетации яровой пшеницы было равномерным, с постепенным уменьшением от фазы кущения к фазе полной спелости. Выявлена особенность формирования элементов питания в зависимости от вида использования земли. На залежных землях содержание нитратного азота в среднем по профилю на 35% меньше, чем на зернопаровом, и на 51% меньше, чем на зернотравяном севооборотах. Целинные земли оказались еще менее обогащены нитратным азотом, чем залежные. Значительная часть фосфора по всем видам использования земли сосредоточена в слое 0-40 см - 23,2 %. В среднем в метровом слое почвы содержание доступного фосфора под залежью было в 3,5 раза выше, чем под остальными видами использования пашни. Установлена зависимость уровня продуктивности от способа использования почвы. В среднем по всем годам исследования максимальным (2,28 т з.ед./га) он был на залежи, минимальным на целинных участках (1,5 т з.ед./га). Продуктивность пашни занимала промежуточное положение между соответствующими показателями целины и залежи (1,85 т з.ед/га). Растения на зернотравяном севообороте, из-за более высокого уровня плодородия почвы, всегда развиваются лучше, чем на зернопаровом севообороте, что сказывается на степени усвоения питательных элементов для формирования продуктивности.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, агроландшафт, целина, залежь, продуктивность, нитратный азот, подвижные формы фосфора

### FEATURES OF FORMATION OF EFFECTIVE FERTILITY OF SOILS UNDER BROWNING AGROLANDSCAPE

Medvedev I.F., Buzueva A.S., Gubarev D.I., Verin A.Yu.

Agricultural Research Institute of South-East Region, Saratov, e-mail: squirel-rush@mail.ru

Taking into account the hydrothermal coefficient of the vegetative period, 3 weather types were formed – arid (GTK = 0.4), moist (GTK = 1.1) and wet (GTK = 1.4). In conditions of severe drought, the soil moisture reserve was lower by 61% relative to conditions of high moisture availability. With the increase in the level of moisture reserves in the soil, the best use of nitrate nitrogen is noted. Distribution of moisture and nutrients in the phases of vegetative growth of spring wheat was uniform, with a gradual decrease from the phase of tillering to the phase of full ripeness. The peculiarity of the formation of food elements is revealed depending on the type of land use. In the fallow lands, the content of nitrous nitrogen is 35% less on average in the profile than in the sulphurous and 51% less than in the grain-crop rotations. The virgin lands were even less enriched with nitrate nitrogen than the fallow. A significant part of phosphorus for all types of land use is concentrated in the 0-40 cm layer – 23.2%. On average, in the meter layer of soil, the content of available phosphorus under the deposit was 3.5 times higher than under the other uses of arable land. The dependence of the level of productivity on the way soil is used is established. On average, for all years of the study, the maximum (2.28 t gr.un/ha) he was on the deposit, the minimum on the virgin lands (1.5 t gr.un/ha). The productivity of arable land occupied an intermediate position between the corresponding indices of the virgin land and the reservoir (1.85 t gr.un/ha). Plants on grain-crop rotation, because of a higher level of soil fertility, always develop better than on a grain-steamed crop rotation, which affects the degree of assimilation of nutrients for the formation of productivity.

Keywords: spring soft wheat, agrolandscape, virgin land, reservoir, productivity, nitrate nitrogen, mobile forms of phosphorus

Интенсивное длительное использование земель сельскохозяйственного назначения и активность эрозионных процессов в агроландшафте привели к заметным потерям плодородия. Восстановление таких почв — процесс очень длительный. Один из основных приемов восстановления плодородия деградированных почв — перевод пашни из интенсивного использования в залежное состояние.

Ежегодное поступление отмирающей органики в почву формирующейся под естественным травостоем залежной паш-

ни постепенно восстанавливает уровень ее плодородия [1].

Индикаторами состояния почвы по уровню плодородия, наряду с уровнем ежегодной урожайности биомассы, являются содержание в почве минерального азота, подвижные формы фосфора [1, 2].

Цель исследования: изучить динамику формирования элементов эффективного плодородия под различными растительными ценозами агроландшафта, продуктивность полевых ценозов на примере яровой пшеницы

в условиях зернопарового и зернотравяного севооборотов и экстенсивно используемой в агроландшафте залежи и целины в зависимости от погодных условий и применяемых удобрений.

### Материалы и методы исследования

Исследования проводились на полях ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока» на черноземе южном малогумусном маломощном глинистом. Яровая пшеница возделывалась в двух 6-польных севооборотах: зернопаровой (пар, озимая пшеница, яровая пшеница, просо, 2 года яровая пшеница) и зернотравяной (3 года многолетние травы, 3 года яровая пшеница). Для сравнения использовались залежный ценоз с возрастом 35 лет и целина. Делянки с удобрениями располагались в один ярус. В первом повторении размещение делянок последовательное, в последующих повторениях - рендомизированное. Учетная площадь одной делянки составляет 100 м<sup>2</sup>. Схема опыта включала в себя 3 варианта в 3-кратной повторности. Исследования проводились в полевых условиях по фенологическим фазам яровой пшеницы (кущение, колошение, полная спелость), залежного и целинного ценозов – в фазу массового цветения. По слоям через 10 см до 1 м проводилось определение содержания подвижной формы фосфора (в 1%-ной углеаммонийной вытяжке по Мачигину ГОСТ 2625-91), минерального азота (по ГОСТ 26423-85). Продуктивность растительного ценоза определяли методом укосов с пересчетом на абсолютно сухую массу (16%), зерна – учетом биологической урожайности на корню с пересчетом на влажность 14%. Сорт яровой мягкой пшеницы «Воевода», технология возделывания – общепринятая.

### Результаты исследования и их обсуждение

Изучаемый агроландшафт представлен основными элементами растительной структуры, интенсивно использованной под полевые севообороты пашней, залежью и целиной. Активность процессов формирования почвенного плодородия в агроландшафте определяется прежде всего долей интенсивно использованной в агроландшафте пашни. Залежь и целина играют роль восстановителей почвенного плодородия. Наряду с пополнением органического вещества основная роль фитоценозов в агроландшафте — это борьба с эрозией и деградацией почвы [3].

При длительном возделывании яровой пшеницы в севообороте важную роль в формировании ее урожайности играют почвенно-экологические условия и прежде всего уровень обеспеченности и соотношения между основными элементами почвенного плодородия, запас влаги в почве [4, 5].

В ходе исследований проведен анализ процессов формирования потенциального плодородия основных растительных систем в агроландшафте. С учетом гидротермического коэффициента (ГТК) вегетационного периода были выделены 3 погодных типа – засушливый (2012 г.), увлажненный (2013 г.) и влажный (2017 г.). В засушливом году ГТК за период вегетации яровой пшеницы составил 0,4, что по классификации означает «сильная засуха». В этот год после окончания снеготаяния суммарный запас продуктивной влаги метрового слоя почвы под пшеницей достиг 207,7 мм, но в условиях острой засухи за один месяц (с апреля по май) уменьшился на 42%, а в пахотном слое (0-30 см) - на 75,2%. В фазу кущения яровой пшеницы запас продуктивной влаги метрового слоя уменьшился в 2 раза (до 104 мм). Минимальное содержание влаги находилось в слое 0-40 см. К фазе колошения яровой пшеницы запасы продуктивной влаги метрового слоя почвы по сравнению с предыдущей фазой уменьшились на 39%. Наиболее активно продуктивная влага использовалась из слоя почвы 60–100 см. За время между фазами колошения и полной спелости отмечалось повторное обострение засухи. К фазе полной спелости запас продуктивной влаги уменьшился по сравнению с фазой колошения на 7,3%.

Растениям для своего развития, наряду с влагой, требуется комплекс питательных элементов.

В питании растений большую роль играют подвижные и легкоусвояемые формы азота, количество которых в почве очень перманентно.

В фазу кущения яровой пшеницы в почвенном слое 0–50 см нитратного азота содержалось 7,1 мг/кг. Концентрация азота происходила в верхнем (0–10 см) слое почвы. Колошение отмечается снижением содержания нитратного азота, по сравнению с фазой кущения на 20,5%. По окончании колошения азот уже почти не усваивался из почвы, что, возможно, связано с процессом реутилизации азота самим растением.

Доступный для питания растений фосфор находится в почве в форме легкорастворимых фосфатов. В фазу кущения яровой

пшеницы содержание подвижного фосфора составило 19,2 мг/кг. Период колошения характеризуется снижением содержания фосфора на 24%, что объясняется максимальным расходованием его на формирование вегетативной массы. В фазу спелости отмечается увеличение содержания фосфора в почве до 19,2 мг/кг за счет низкого использования его растениями.

Вегетативная масса растений на момент кущения составила 0.29 т/га. С увеличением в фазу колошения на 70.4% и в фазу спелости еще на 61%, что составило 0.80 т/га. Отмечена высокая отрицательная корреляционная зависимость массы растений с содержанием нитратного азота в почве (r = -0.86), а с содержанием подвижного фосфора – низкая (r = 0.23).

В увлажненный тип погоды ( $\Gamma TK = 1,1$ ) запас продуктивной влаги в фазу кущения составил 167,5 мм. Иссушения пахотного горизонта не происходило. Минимальное содержание влаги отмечалось на глубине 50-70 см. Период фазы колошения характеризовался экстремально влажными погодными условиями с суммой осадков 239,5 мм. Запасы влаги метрового слоя увеличились на 43 %. За время между фазами колошения и полной спелости отмечалась слабая засуха ( $\Gamma TK = 0.6$ ), но выпавшие в предшествующий период осадки позволяли растениям развиваться в нормальном режиме. Запас продуктивной влаги уменьшился по сравнению с фазой колошения на 56%.

Состояние минерального азота в почве находится под влиянием погодных условий [4]. Распределение азота по фазам вегетации растений по гумусовому слою было равномерным и в фазу кущения составляло в среднем 9,0 мг/кг. К фенологической фазе колошения содержание азота в почве снизилось на 37,8%. Наиболее высокое расходование нитратного азота отмечено в фазу полной спелости – 54,2%, что связано с выносом его яровой пшеницей. На распределение подвижного фосфора по фазам вегетации яровой пшеницы погодные условия не оказали заметного влияния. Максимальное содержание отмечалось в период кущения (11,3 мг/кг), затем происходило его снижение в фазу колошения и полной спелости (7,2 и 7,8 мг/кг) соответственно  $(HCP_{0.05} = 0.3).$ 

При ГТК = 1,4 за период кущения суммарный запас влаги составил 222,4 мм. Учет запасов влаги в фазу колошения показал, что расход влаги из почвенного профиля со-

ставлял 4,95% в сравнении с предыдущей фазой. Заметного снижения уровня продуктивной влаги не отмечается вследствие частого выпадения атмосферных осадков, питавших почвенные горизонты. По результатам данных последнего периода вегетации наглядно видно действие растений на использование почвенной влаги. Наблюдается заметное расходование почвенной влаги 26,7% (154,9 мм), что составляет относительно предыдущей фазы 56,5 мм.

Содержание нитратного азота в фазу кущения составляло всего 1,2 мг/кг. В фазу колошения отмечается увеличение нитратного азота на 77,2%, и к моменту уборки расход нитратного азота в почве составляет более 70% от содержания в предыдущей фазе.

Изменение содержания подвижного фосфора по фазам вегетации во влажные годы (ГТК = 1,4) проходило в сторону увеличения от кущения до полной спелости. Увеличение содержания фосфора за период вегетации яровой пшеницы составляет 97,7%, что связано с увеличением температуры окружающей среды и лучшим прогреванием почвы.

Исследованиями подтверждено, что форма использования пашни оказала существенное влияние на содержание основных элементов питания (табл. 1).

По результатам наблюдений, растения на зернотравяном севообороте, из-за более высокого уровня плодородия почвы, всегда развиваются лучше, чем на зернопаровом севообороте, что сказывается на степени усвоения питательных элементов для формирования продуктивности.

Исследования показали, что по содержанию нитратного азота в среднем по горизонтам почвы наименьшее значение принадлежит целинному ценозу (1 мг/кг). В естественных ценозах преобладают формы аммонийного азота, что связано с действием температуры и условий увлажнения, которые более благоприятны для процесса аммонификации. Соотношение между нитратной и аммонийной формами азота в почве под пашней равнялось 4, а под фитоценозами 0,48 (залежь) и 0,44 (целина). На обрабатываемых землях минимальное содержание нитратного азота отмечено на зернопаровом севообороте (3 мг/кг). Благодаря действию удобрений, содержание его увеличивается на 17,8%. При включении в севооборот многолетних трав содержание азота увеличивается на 36,1%, и на 43,8% на удобренном варианте.

**Таблица 1** Содержание питательных элементов в почве при различном ее использовании на разных дозах удобрений в среднем за период исследований в метровом слое, мг/кг

Питательный	Почвен-	Вид сельскохозя			яйственного использования почвы				
элемент, мг/кг	ные гори- зонты	Зернопаровой Зернотра севооборот севооб		авяной Целина орот		шна	Залежь 35 лет		
		Б/у	N <sub>60</sub>	Б/у	N <sub>60</sub>	Б/у	N <sub>60</sub>	Б/у	N <sub>60</sub>
N-NO <sub>3</sub>	Гор. А	4,7	6,7	4,7	7,5	1,6	2,4	0,8	1,5
	Гор. В	2,1	2,2	3,2	4,8	0,7	1,2	2,4	2,7
	Гор. С	2,0	2,0	5,1	5,6	0,5	0,7	3,9	3,9
Среднее по горизонтам	A+B+C	3,0	3,6	4,3	5,9	1,0	1,4	2,4	2,7
$P_2O_5$	Гор. А	10,8	11,1	19,5	23,9	18,3	20,1	44,0	45,8
2 3	Гор. В	1,3	2,3	3,1	4,1	2,3	2,7	19,2	22,1
	Гор. С	2,1	0,8	2,3	1,4	1,9	2,1	11,2	14,6
Среднее по горизонтам	A+B+C	4,7	4,7	8,3	9,8	7,5	8,3	24,8	27,5
Статистическая обработка по N-NO <sub>3</sub>									
Факторы		HCP <sub>0°05</sub>		Fтеор.			<b>Г</b> факт.		
А (уго	А (угодье)		0,4		3,0			160,3*	
В (горизонты)		0,3		3,4			28,8*		
С (удобрение)		0,3		4,3			7,6*		
Статистическая обработка по Р,О,									
Факторы		HCP <sub>0,05</sub>		Fтеор.			<b>Гфакт</b> .		
А (угодье)		0,4		3,0			4807,4*		
В (горизонты)		0,3		3,4			1655,9*		
С (удобрение)		0,3		4,3			8,4*		

Таблица 2 Продуктивность агробиоценозов, т з.ед/га

ГТК	Угодь					R					
	Целина			Залежь 35 лет			Пашня (яр. пшеница в среднем по двум севооборотам)				
	Б/у		Б/у	N <sub>30</sub>	N <sub>60</sub>	Б/у	$\frac{N_{30}}{N_{30}}$	N <sub>60</sub>			
0,4	0,31	0,35	0,56	1,00	1,48	1,84	0,80	0,85	1,09		
1,1	1,19	1,77	2,38	1,33	2,12	2,71	1,55	2,03	2,65		
1,4	2,10	2,15	2,70	3,05	3,45	3,55	1,94	2,75	2,95		
Среднее значение	1,20	1,42	1,88	1,79	2,35	2,70	1,43	1,88	2,23		
	Статистическая обработка данных										
Факторы			HCP 0205			Fтеор.		<b>Г</b> факт.			
А (агробиоценоз)			0,23			3,18 128,75*		k			
В (удобрение) 0,2		23 3,18		3,18		23,62*					
С (годы)			0,23			0,23		3,18	24,38*		

На залежных землях содержание нитратного азота в среднем по профилю на 35% меньше, чем на зернопаровом, и на 51% меньше, чем на зернотравяном севооборотах. Целинные земли оказались еще менее обогащены нитратным азотом, чем залежные.

В среднем в метровом слое почвы содержание доступного фосфора под залежью

было в 3,5 раза выше, чем под остальными видами использования пашни. Наименьшее содержание отмечено в почвах зернопарового севооборота. На удобренном варианте зернотравяного севооборота отмечается увеличение подвижного фосфора на 15,7%, что является наибольшим значением на двух севооборотах.

Под исследуемые фитоценозы для интенсификации процессов почвообразования вносились 2 дозы азотного удобрения (аммиачная селитра) из расчета: 30 и 60 кг/га (табл. 2).

На целине и залежи удобрения вносились в период отрастания трав, а под яровую пшеницу – под предпосевную культивацию.

Максимальное эффективное действие азотных удобрений отмечалось на необрабатываемых фонах в годы с  $\Gamma$ TK = 0,4 и 1,1. Внесение  $N_{30}$  по сравнению с неудобренным вариантом позволило увеличить урожайность залежного ценоза на 48% при  $\Gamma$ TK = 0,4 и на 59,4% при  $\Gamma$ TK = 1,1, а целинного ценоза на 12,9% и 48,7% соответственно. На пашне в эти годы уровень продуктивности, на варианте с внесением 30 кг д.в. аммиачной селитры, значительно уступал другим изучаемым угодьям. По сравнению с неудобренным контролем эффективность доз вносимых удобрений составила 6,25% и 31%.

Во влажный год (ГТК = 1,4) действие  $N_{30}$  увеличило продуктивность пашни на 41,8%, залежи на 16,4% и целины на 28,6%.

По сравнению с  $N_{30}$  внесение двойной дозы азотного удобрения  $(N_{60})$ , в среднем по всем сельскохозяйственным фонам и годам, способствовало росту продуктивности на 116%. Наиболее эффективно двойная доза работала под залежью 35 лет. Прибавка продуктивности от двойной дозы по сравнению с одинарной составила в сухой год – 84%, в увлажненный – 103,8%. В условиях хорошего увлажнения (ГТК = 1,4) максимальный эффект от использования удобрений дает обрабатываемая пашня, в то время как при засушливых условиях (ГТК = 0,4-1,1) наибольшую прибавку дают фитоценозы, за счет созданного микроклимата, где почвенный профиль не пересыхает, а плотный растительный слой не дает почвенной влаге испаряться.

#### Выводы

Исследованиями подтверждено, что вид использования почвы в агроландшафте оказал существенное влияние на содержание основных элементов питания. На залежных землях содержание нитратного азота в среднем по профилю на 35% меньше, чем на зернопаровом, и на 51% меньше, чем на зернотравяном севооборотах. Целинные земли оказались еще менее обогащены нитратным азотом, чем залежные. Снижение содержания азота на ненарушенных механическими обработками почвах связано с агрофизическими свойствами почвы и высоким уровнем дифференциации размещения органических остатков по гумусовому профилю почвы.

Установлена зависимость уровня продуктивности от способа использования почвы, условий произрастания и влияния удобрений. По всем годам исследований залежные ценозы отличались высокой продуктивностью (2,28 т з.ед/га), целинные — минимальной (1,5 т з.ед/га). Пашня занимала промежуточное положение между соответствующими показателями целины и залежи (1,85 т з.ед/га).

Максимальное эффективное действие по двум дозам ( $N_{30}$  и  $N_{60}$ ) азотных удобрений отмечалось на необрабатываемых фонах при ГТК = 0,4–1,1. Прибавка продуктивности для залежи составила 53,7% ( $N_{30}$ ) и 92% ( $N_{60}$ ), для целины 30,8% ( $N_{30}$ ) и 72,3% ( $N_{60}$ ), Однако при ГТК = 1,4 большая отзывчивость на вносимые удобрения оказалась на пашне 41,8% ( $N_{30}$ ) и 52,1% ( $N_{60}$ ).

### Список литературы

- Влияние почвенно-агрохимических показателей на формирование корневой системы яровой мягкой пшеницы (triticum aestivum L.) в различных погодных условиях на черноземах южных / И.Ф. Медведев [и др.]// Проблемы агрохимии и экологии. – 2014. – № 3. – С. 8–13.
   Каземиров С.В. Экологические аспекты развития
- 2. Каземиров С.В. Экологические аспекты развития почвенно-растительной системы южного чернозема на залежах: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Саратов, 2007. 20 с.
- 3. Левицкая Н.Г. Засухи в Поволжье и их влияние на производство зерна / Н.Г. Левицкая, О.В. Шаталова, Г.Ф. Иванова // Аграрный вестник Юго-Востока. 2010. № 3–4(6–7). С. 71–74.
- 4. Прянишников А.И. Изменение экологических условий формирования продуктивности пшеницы в Поволжье / А.И. Прянишников, Н.Г. Левицкая, И.И. Демакина // Зернобобовые и крупяные культуры. 2017. № 3. С. 58–63.
- 5. Оптимизация доз азотных и фосфорных удобрений на черноземных почвах Поволжья с различным содержанием фосфор а/ М.П. Чуб [и др.] // Плодородие. -2017. -№ 2. -C. 8-11.

#### References

- 1. Medvedev I.F., Dereviagin S.S., Gubarev D.I., Buzueva A.S., Azarov K.A. Effect of soilagrochemical parameters on the formation of root system of spring wheat (Triticum aestivum L.) in different weather conditions on the southern chernozems [Vliianie pochvenno-agrokhimicheskikh pokazatele na formirovanie kornevoi sistemy iarovoi miagkoi pshenitsy (triticum aestivum L.) v razlichnykh pogodnykh usloviiakh na chernozemakh iuzhnykh]. Problemy agrokhimii i ekologii Problems of agrochemistry and ecology, 2014, no. 3, pp. 8–13.

  2. Kazemirov S.V. Ekologicheskie aspekty razzitita
- 2. Kazemirov S.V. Ekologicheskie aspekty razvitiia pochvenno-rastitel'noi sistemy iuzhnogo chernozema na zalezhakh [Ecological aspects of the development of the soilplant system of southern chernozem on deposits]. Saratov, FGOU VPO Saratovskii GAU im. N.I. Vavilova, 2007, 20.
- 3. Levitskaia N.G., Shatalova O.V., Ivanova G.F. Droughts in the Volga Region and Their Influence to Grain Production [Zasukhi v Povolzh'e i ikh vliianie na proizvodstvo zerna]. Agrarnyi vestnik Iugo-Vostoka Agrarian Reporter of South-East, 2010, vol. 4, no. 3, pp. 71–74.
- 4. Prianishnikov A.I., Levitskaia N.G., Demakina I.I. The change in the environmental conditions of formation of productivity of wheat in the volga region [Izmenenie ekologicheskikh uslovii formirovaniia produktivnosti pshenitsy v Povolzh'e]. Zernobobovye i krupianye kul'tury grained and crop crops, 2017, no. 3, pp. 58–63.
- 5. Chub M.P., Pron'ko V.V., Iaroshenko T.M., Klimova N.F., Zhuravlev D.Iu. Optimization of Nitrogen and Phosphorus Fertilizer Application Rates on Chernozemic Soils with Different Phosphorus Contents in the Volga Region [Optimizatsiia doz azotnykh i fosfornykh udobrenii na chernozemnykh pochvakh Povolzh'ia s razlichnym soderzhaniem fosfora]. Plodorodie Plodorodie, 2017, no. 2, pp. 8–11.

УДК 631.582:631.416.1(470.4)

### ФОРМИРОВАНИЕ АЗОТНОГО РЕЖИМА В ПАРОВЫХ ПОЛЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Сайфуллина Л.Б., Курдюков Ю.Ф., Шубитидзе Г.В., Воронцова О.А.

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока», Capamos, e-mail: raiser saratov@mail.ru

Решение проблемы возобновления доступных для растений форм азота за счет природных ресурсов должно опираться на изучение динамики содержания нитратного азота и нитрификационной способности почвы в разных звеньях севооборотов в зависимости от факторов, определяющих степень реализации агроклиматического потенциала почвы. В статье рассматривается нитрификационная активность почвы в паровых полях севооборотов в зависимости от погодных условий. Минерализация азотистых соединений в условиях засушливых степей Правобережья Саратовской области определяется высокими термическими ресурсами, недостаточной устойчивостью погоды и аномалиями в любое время года. Несмотря на быстрое нарастание температуры воздуха в апреле, прогревание почвы, среды обитания бактерий-нитрификаторов, замедлено. В этот период начинается разложение свежих растительных остатков и азотистых соединений почвы, закладывается потенциальная способность почвы к нитрификации. Так, в 2016 г. при температуре почвы в третьей декаде апреля 13,5°C нитрификационная способность почвы составляла 12,4 мг/кг почвы, в то время как в 2017 г. при температуре почв в эти же сроки 10,5°C нитрификационная способность была в два раза ниже- 6,9 мг/кг. Достоверное накопление нитратного азота начинается с прогреванием почвы до оптимальных температур, которое достигается в июне месяце и сопровождается постепенным снижением нитрификационной способности почвы. Реализация агроклиматического потенциала в паровых полях имеет высокую корреляцию с температурными режимами на поверхности и в верхнем слое почвы на протяжении всего вегетационного периода (0,68\*\*-0,85\*\*). Показатели ГТК и количества выпадающих осадков имеют достоверную отрицательную корреляцию с термическими факторами и снижают интенсивность аккумуляции нитратного азота и реализации агроклиматического потенциала.

Ключевые слова: климатические режимы, нитратный азот, нитрификация, севообороты

### FORMATION OF NITROGEN REGIME IN THE FALLOW FIELDS OF THE STEPPE ZONE OF THE LOWER VOLGA REGION

Sayfullina L.B., Kurdyukov Yu.F., Shubitidze G.V., Vorontsova O.A.

Federal State Government-Funded Scientific Institution «Agricultural Research Institute of South-East Region», Saratov, e-mail: raiser saratov@mail.ru

The solution of the problem of resumption of the plant-available forms of nitrogen from natural resources should be based on study of dynamics of the content of nitrate nitrogen and nitrification capacity of the soil in different parts of crop rotation depending on the factors that determine the degree of implementation of agro-climatic potential of the soil. The article discusses the nitrifying activity of soil in fallow fields of crop rotation depending on weather conditions. Mineralization of nitrogen compounds in the arid steppes of the right Volga bank of the Saratov region is determined by high thermal resources, insufficient weather resistance and abnormalities in any time of the year. Despite rapid increase of air temperature in April, warming of soil, which is habitat nitrifying bacteria, is slowed down. This period begins decomposition of nitrogenous compounds and potential ability of the soil to nitrification. So, in 2016, when soil temperature in the third decade of April ran up to 13.5 °C nitrification capacity of the soil was 12.4 mg/kg, meanwhile in 2017, when the temperature of the soil in the same period reached 10.5 °C, nitrification capacity was two times lower- at 6.9 mg/kg. Significant accumulation of nitrate nitrogen starts with the soil warming up to optimal temperature, which is achieved in June and is accompanied by a gradual decrease in nitrification capacity of the soil. Implementation of agro-climatic potential in fallow fields has high correlation with temperature on the surface and in the upper layer of the soil throughout the growing period (0,68\*\*-0,85\*\*). Indicators of SCC and amount of precipitation, having reliable negative correlation with the thermal factors, decrease accumulation of nitrate nitrogen and implementation of agro-climatic potential.

Keywords: climatic modes, nitrate nitrogen, nitrifying, crop rotations

При современном состоянии агроландшафтов одной из основных задач систем земледелия становится возобновление природно-ресурсного потенциала элементов питания растений на фоне их интенсивного использования. Относительная стабильность содержания подвижных форм фосфора и калия в черноземах легкоглинистых и тяжелосуглинистых связана с химическими характеристиками почвообразующих пород. Проблемой восполнения минеральных форм азота является его органогенное происхождение, зависимость от количества и качественного состава возвращаемого растительного материала, структуры органического вещества почвы, агроклиматического потенциала и др. [1].

Агроклиматический потенциал степной зоны Правобережья Саратовской области определяется континентальностью клима-

та: дефицитом атмосферных осадков, низкой относительной влажностью воздуха в летний период, высокими термическими ресурсами. Весенний период сопровождается резким нарастанием температуры воздуха. Переход среднесуточной температуры выше 0°C отмечается 4–7 апреля, через  $(+5 \,^{\circ}\text{C}) - 14-17$  апреля, через  $(+10 \,^{\circ}\text{C}) - 28-$ 29 апреля. Продолжительность вегетационного периода – 134–158 дней. Гидротермический коэффициент составляет 0,6-0,8 за период с температурой выше (+10°C), сумма положительных температур – 2600-2800°C. Осадков за этот период выпадает 238-289 мм. Согласно среднему месячному количеству осадков их максимум приходится на июнь месяц. Наиболее сухим месяцем является август (рис. 1) [2].

Прогревание верхнего слоя почвы выше 0°С определяет начало разложения и минерализации органического вещества. С повышением температуры процесс усиливается, а при 25–30°С в аэробных условиях при влажности почвы 60–80% от полной полевой влагоемкости происходит интенсивная минерализация остатков биоценоза. Согласно многолетним наблюдениям, средние месячные температуры верхнего слоя почвы достигают оптимальных для нитрификации значений к концу июня — началу июля (рис. 1).

В рамках выполнения исследований по программе Академии наук, связанных с разработкой экологически безопасных и экономически эффективных систем земледелия, проводился многолетний мониторинг содержания нитратного азота и нитрификационной способности в разных звеньях севооборотов, отличающихся по продолжительности ротации и составу культур. Наблюдалась повышенная нитрификационная способность почвы под посевами озимой пшеницы в зернопаротравяном севообороте с начала вегетации до фазы цветения и начала формирования зерна. Отмечалась вы-

сокая корреляция показателя с урожаем зерна и содержанием в нем азота. Урожай зерна в севообороте с многолетними травами был выше по сравнению с зернопропашными на 22,5% (соответственно 55 ц/га и 40–45 ц/га), а по содержанию азота в зерне этот вариант значимо превышал двупольный зернопаровой севооборот (соответственно 2,03% и 1,77%) [3].

За период вегетации наблюдались различия динамики содержания нитратного азота и нитрификационной способности в разных звеньях севооборотов, что связано с особенностями развития культур и выносом элементов питания. В чистом виде динамику нитрификационной активности в зависимости от агроклиматического потенциала можно наблюдать в паровых полях (черный пар), вводимых в севообороты в степной зоне и обеспечивающих сохранение влаги в почве, накопление элементов питания к посеву озимой пшеницы, снижение засоренности полей и др.

Целью исследований является выяснение особенностей формирования азотного режима и влияния агроклиматического потенциала на сроки накопления нитратного азота и нитрификационную способность почвы в паровых полях (черный пар) севооборотов на черноземах южных малогумусных среднемощных тяжелосуглинистых, вспаханных на глубину 27–30 см.

### Материалы и методы исследования

Исследования проводились в паровых полях (черный пар) севооборотов длительного стационарного опыта отдела земледелия, заложенного в 1974—1985 гг. в экспериментальном хозяйстве ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока». Полевые севообороты развернуты в пространстве и во времени. Повторность вариантов в опыте 3-кратная, площадь делянок 360 м².

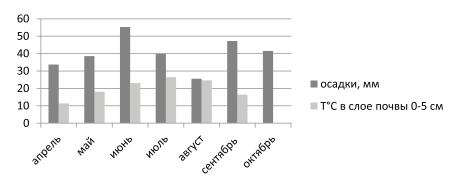


Рис. 1. Средние месячные суммы осадков и температур верхнего слоя почвы (0–5 см), (1995–2017 гг.)

Почва опытного участка — чернозем южный малогумусный среднемощный тяжелосуглинистый. Агрохимическая характеристика на момент исследования следующая: содержание гумуса — 4,0–4,3 %, валового азота — 0,217–0,240 %, валового фосфора и калия соответственно 0,124–0,135 % и 1,8–2,0 %. Обеспеченность подвижными формами фосфора и калия по Мачигину составляет для  $P_2O_5$  4,7–6,2 мг/100 г почвы, для  $K_2O_3S_5$ 0 мг/100 г почвы.

Основная обработка проводилась плугом ПЛН-4-35 на глубину 27–30 см. Для ухода за паром использовали культиваторы КПС-4Г с одновременным боронованием. За весенне-летний период почву культивировали на глубину 10–12, 8–10, 6–8, 6–8, 6–8 см по мере отрастания многолетних сорняков.

Были проанализированы данные, касающиеся накопления нитратного азота и нитрификационной способности почвы за период парования в 2007, 2008, 2010, 2014, 2016 гг.

Динамика нитрификационной активности почв (накопление нитратного азота и изменение нитрификационной способности) в теплый период года рассматривалась в 2016 и 2017 гг.

Почвенные образцы отбирались в пяти точках по каждому варианту в слое почвы 0–30 см с последующим выделением среднего образца, ориентируясь на фазы развития озимой пшеницы (табл. 1) [4].

Содержание нитратного азота и нитрификационная способность почвы после семидневного компостирования определялась ионометрическим методом [5].

Использование метеорологических наблюдений м/с Саратов ЮВ и применение методов корреляционной статистики позволило установить степень влияния погодных условий (ГТК, количество выпадающих осадков, T °C на поверхности почвы – средней и абсолютной максимальной, а также T °C в слое почвы 0–5 см) на нитрификационную активность почвы.

Содержание нитратного азота и нитрификационная способность почвы в паровых полях к посеву озимой пшеницы соотносились со средними значениями гидротермических показателей за два периода: май – июнь и июль – август. Для определения корреляции сезонной динамики нитрификационной активности с погодными условиями использовались данные за месяц, предшествующий отбору образцов.

Таблица 1 Сроки отбора почвенных образцов

Сроки отбора образцов (Фазы развития озимой пшеницы)	Середина апреля (начало вегетации)	Первая половина мая (трубкова ние)	Конец мая – начало июня (конец цветения)	Первая полови- на июля (восковая спелость)	Конец июля – начало авгу- ста (уборка)	Начало сентября (посев озимой пшеницы)
2016	11.04	05.05	30.05	04.07	25.07	05.09
2017	17.04	12.05	07.06	15.07	04.08	10.09

Таблица 2 Матрица корреляционного и вариационного анализов содержания нитратного азота, нитрификационной способности и факторов агроклиматического потенциала (n = 18)

	Срок наблюдения	ГТК	Осадки		T°C	
				На поверхности почвы		В слое почвы
				средняя	Абс. тах	0–5 см
N NO	Май – июнь	-0,66**	-0,72**	0,85**	0,68**	0,86**
N-NO <sub>3</sub>	Июль – август	-0,61**	-0,52**	0,59*	0,68**	0,77**
Нитрификационная	Май – июнь				0,58*	
способность	Июль – август	0,56*	0,66**	-0,63**	-0,54*	
Сполио	Май – июнь	0,9	96	23,0	56,0	21
Среднее	Июль – август	0,5	39	28,5	59,0	8
V	Май – июнь	45	63	9	5	27
v	Июль – август	63	62	9	4	9

Статистическая обработка материалов проводилась по программам Excel и Agros.

### Результаты исследования и их обсуждение

За годы изучения влияния погодных условий на формирование азотного режима отмечалась высокая вариабельность ГТК и количества осадков, как в мае — июне, так и в июле — августе. При среднем значении ГТК 0,9 и 0,5, осадков 96 и 39 мм коэффициенты вариации составляли для ГТК 45 и 63; для количества осадков 63 и 62 (табл. 2).

Нормальными условиями отличался весенне-летний период 2008 г. (ГТК = 1,0 за май – июнь и июль – август). В 2010 г. в первой половине лета наблюдалась сильная засуха (ГТК = 0,5), переходящая в очень сильную (ГТК = 0,1) в июле – августе. Слабая засуха в первой половине лета (ГТК = 0,8) и очень сильная (0,3) в июле – августе была характерна для 2014, 2016 гг. Весна 2017 г. характеризовалась избыточным увлажнением (ГТК = 1,7), в то время как во второй половине лета отмечалась сильная засуха (ГТК = 0,5).

Было отмечено, что с повышением ГТК и количества выпавших осадков в оба периода наблюдения содержание нитратного азота к концу парования снижается. Коэффициенты корреляции имеют достоверное отрицательное значение: (-0.66\*\*), (-0.61\*\*) – с ГТК; (-0.72\*\*), (-0.52\*\*) – с количеством осадков.

Интенсивность нитрификации определяется степенью прогревания почвы. За время мониторинга температура в слое почвы 0–5 см за май – июнь изменялась от 18,8°C (2017 г.) до 23,7°C (2010 г.) и в среднем составляла 21,0°C, а в июле – августе колебалась от 23,4°C (2008 г.) до 31,0°C (2010 г.) при среднем значении 27,0°C. Несмотря на низкую вариабельность показателей температуры на поверхности и в верхнем слое по-

чвы (V 4-9), их изменение имеет достоверную положительную корреляцию с содержанием нитратного азота к концу парования (0,85\*\* для периода май – июнь; 0,77\*\* для июля – августа). С повышением абсолютного температурного максимума на поверхности почвы содержание нитратного азота также возрастает (r = 0.68\*\*) Его максимальное содержание (от 31 до 45 мг/кг почвы) (табл. 3) отмечалось в острозасушливом 2010 г., когда средняя температура верхнего слоя почвы в мае – июне составляла 23,7°C, абсолютный температурный максимум на поверхности почвы достигал 60,3°C, а в июле – августе – соответственно 31 и 63,0°С. В условиях воздействия высоких температур на поверхность почвы в июле августе наблюдается усиление разложения остатков растений, но это происходит, скорее всего, в результате химических процессов. Минимальное содержание нитратного азота к концу парования (11–15 мг/кг почвы) было отмечено в 2017 г. на фоне медленного прогревания почвы в мае – июне (18,8°C), аномально высокого количества осадков (167 мм за два месяца) и ГТК = 1,7 (рис. 3).

Между ГТК и количеством выпадающих осадков, с одной стороны, и температурой на поверхности и в верхних слоях почвы, с другой, коэффициент корреляции имеет достоверное отрицательное значение: (-0.76\*\*) - (-0.95\*\*).  $\bar{B}$  зависимости от соотношения рассматриваемых факторов происходит формирование азотного режима почвы. Многолетний мониторинг показал достоверное различие содержания нитратного азота и уровня нитрификационной способности почвы к концу ухода за паром в зависимости от года наблюдений. В среднем в севооборотах к моменту посева озимой пшеницы накопление нитратного азота составляло от 17,20 до 36,92 мг/кг почвы при коэффициенте вариации V = 40 и среднем содержании 21,4 мг/кг.

Таблица 3 Содержание нитратного азота и нитрификационная способность почвы к посеву озимой пшеницы (мг/кг почвы)

	Годы наблюдения							
	2007 2008		2010	2014	2016			
	Нитратный азот							
1*	18,61	17,20	36,92	21,40	21,80			
2*	b	a	d	c	c			
	F – 1992,137* HCP = 0,514							
	Нитрификационная способность							
1*	13,03	14,64	9,47	6,83	1,98			
2*	d	e	c	b	a			
	F - 5464,726* HCP = 0,198							

 $\Pi$  р и м е ч а н и е . 1 — среднее значение по севооборотам; 2 — критерий множественного сравнения частных средних.

Нитрификационная способность почвы так же варьирует в зависимости от погодных условий (V=61) от 1,98 до 14,64 мг/кг почвы при среднем значении за годы наблюдения 8,2 мг/кг почвы.

Потенциальная способность почвы к нитрификации начинает формироваться в ранневесенний период по мере прогревания почвы с началом разложения азотистых соединений. В связи с этим прослеживается ее положительная корреляция с абсолютным температурным максимумом в первой половине наблюдений (0,58\*). Низкая достоверность корреляции объясняется влиянием погодных условий в ходе парования на конечное значение показателя.

Положительная корреляция нитрификационной способности с ГТК и количеством осадков в июле — августе (r = 0.56\* и r = 0.66\*\*) и отрицательная со средней температурой на поверхности почвы (r = -0.63\*\*) может объясняться снижением биологической активности в связи с потерей влаги из почвы.

Таким образом, высокая вариабельность погодных условий в период ухода за чистым паром объясняет достоверное различие в накоплении нитратного азота и уровне нитрификационной способности почвы к посеву озимой пшеницы по годам (табл. 2–3).

Накопление нитратного азота и динамика нитрификационной способности являются двумя сторонами нитрификационной активности почвы и имеют достоверную отрицательную корреляцию. За период ухода за паром в 2016 г. коэффициент корреляции между показателями составил (–0,86\*\*).

Сезонная динамика накопления нитратного азота и нитрификационной способности в черных парах рассматривалась в условиях теплого периода 2016 и 2017 гг.

Как отмечалось выше, потенциальная способность почвы к нитрификации закладывается в ранневесенний период и во многом зависит от температуры на поверхности и в верхних слоях почвы. При температуре

слоя 0–5 см в третьей декаде апреля 2016 г. 13,5°C (рис. 2) потенциальная способность почвы к нитрификации составляла 13-14 мг/кг почвы (рис. 3). В мае температура верхнего слоя почвы была близка к среднемноголетним показателям. Ее понижение в середине месяца было компенсировано к концу мая и несколько превышало среднегодовые показатели в июле – августе [6]. В таких условиях тенденция к накоплению нитратного азота в паровых полях севооборотов отмечалась уже к третьему сроку наблюдения (конец мая), а с начала июля наблюдалось достоверное увеличение содержания нитратного азота и снижение нитрификационной способности почвы. Максимальное накопление нитратного азота и минимальный уровень нитрификационной способности были достигнуты к началу сентября, к посеву озимой пшеницы. Содержание нитратного азота в среднем по севооборотам составило 21,8 мг/кг, а нитрификационная способность снизилась до 1,98 мг/кг почвы.

Значительно отличающиеся погодные условия 2017 г. оказали существенное влияние на динамику нитрификационной активности в период ухода за паром [7]. Пониженная по сравнению с 2016 г. температура верхнего слоя почвы в третьей декаде апреля (10,3 по сравнению с 13,5°C) замедлила разложение свежих органических остатков и формирование потенциальной способности почвы к нитрификации в начале весенних полевых работ (6,92 мг/кг почвы). Максимум нитрификационной способности был достигнут только к середине мая. Медленное прогревание почвы в мае – июне 2017 г. на фоне избыточного увлажнения сдерживало реализацию потенциальной способности к нитрификации, чем объясняется пониженное содержание нитратного азота по сравнению с 2016 г. на протяжении всего периода ухода за паром, а к началу сентября его накопления были ниже на 28% (15,9 мг/кг почвы).



Рис. 2. Прогревание верхнего слоя почвы за период парования

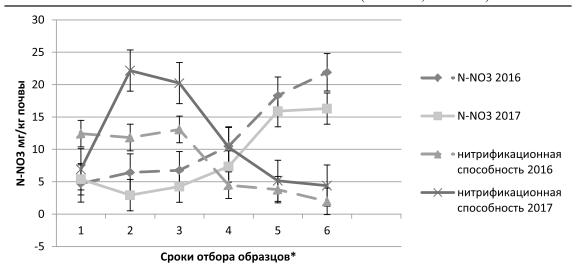


Рис. 3. Динамика нитрификационной активности почвы за период ухода за чистым паром в 2016 и 2017 гг. Примечание. Сроки отбора образцов ориентированы на фазы вегетации озимой пшеницы: 1 — середина апреля, начало вегетации; 2 — первая половина мая, трубкование; 3 — конец мая — начало июня, конец цветения; 4 — первая половина июля, восковая спелость; 5 — конец июля — начало августа, уборка; 6 — начало сентября

Учитывая влияние агроклиматического потенциала на особенности формирования азотного режима в паровых полях, возможно прогнозирование оптимальных сроков, а также уровня накопления нитратного азота в почве, что позволит дать оценку элементам, входящим в технологии ухода за паром, и в целом системам его обработки. Кроме того, определение содержания нитратного азота в почве с учетом установления оптимальных сроков его накопления дает возможность выяснить целесообразность применения поздней подкормки озимых культур и необходимые дозы удобрений.

### Выводы

- 1. Достоверное различие накопления нитратного азота и нитрификационной способности почвы к концу парования в разные годы наблюдения объясняется варьированием ГТК и интенсивности прогревания почвы на протяжении ухода за чистым паром.
- 2. Накопление нитратного азота к концу парования определяется в основном температурой на поверхности и в верхнем слое почвы и связано с реализацией нитрификационной способности на протяжении всего периода ухода за паром.
- 3. Повышенные значения ГТК и количество выпадающих осадков, имеющие достоверную отрицательную корреляцию с температурой на поверхности и в верхнем слое почвы, затрудняют реализацию потен-

циальной способности почвы к нитрификации и накопление нитратного азота.

- 4. Нитрификационная способность закладывается в ранневесенний период при достижении температуры верхнего слоя почвы 10–17°С (вторая половина апреля, начало мая) и зависит от абсолютного температурного максимума на поверхности почвы. При дальнейшем повышении температуры с накоплением нитратного азота потенциальная способность к нитрификации снижается вплоть до минимальных показателей к концу лета.
- 5. Сохранение повышенной нитрификационной способности почвы в мае июле и пониженное накопление нитратного азота (15,9 мг/кг почвы) к началу сентября 2017 г. связано с высоким значением ГТК мая июня (1,7), количеством осадков (167 мм), замедленным прогреванием почвы в весенне-летний период. В результате к посеву озимой пшеницы отмечалось его минимальное содержание за период наблюдений (12,63 мг/кг почвы).

### Список литературы

- 1. Роль микроорганизмов в экологической функции почвы / Т.Г. Добровольская и др. // Почвоведение. 2015. № 9. С 1087. DOI: 10.1134/S1064229315090033.
- 2. Левицкая Н.Г. Климат и урожай Саратовской области. Изменчивость и продуктивность климата Саратовской области на фоне глобального потепления / Н.Г. Левицкая, Г.Ф. Иванова. Саарбрюкен: Krug Lambert академическое излание. 2014. 50 с.
- 3. Влияние севооборотов на природно-ресурсный потенциал минерального азота почвы и формирование урожая

- озимой пшеницы / Л.Б. Сайфуллина и др. // Успехи современного естествознания. -2017. -№ 9. C. 41.
- 4. Агрохимические обследования и мониторинг почвенного плодородия: учебное пособие для студентов и аспирантов / А.Н. Есаулко, Ю.И. Гречишкина, А.И. Подколзин и др. Ставрополь: AGRUS, 2009. 252 с.
- 5. ГОСТ 26951-86. Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом. М.: Изд-во стандартов, 1986. 7 с.
- 6. Иванова Г.Ф., Левицкая Н.Г. Метеорологические и синоптические условия аномальной погоды в Саратове за весенний период 2016 года // Сб. ст Второй междунар. науч.практ. конф. памяти С.Ф. Ковалевской (Москва, 20–20 февраля). М.: Европейский фонд инновационного развития, 2016. С. 75.
- 7. Иванова Г.Ф., Левицкая Н.Г., Цыплухина П.В. Аномальные условия погоды и синоптические процессы весны 2017 года на территории Саратовской области // Инновационные подходы в современной науке: материалы междунар. науч. практ. конференции. (Саратов, 13 апреля 17декабря 2017 г.). М.: ООО Интернаука, 2017. С. 18–25.

#### References

- 1. Dobrovol'skaia T.G., Zviagintsev D.G., Chernov I.Iu., Golovchenko A.V., Zenova G.M., Lysak L.V., Manucharova N.A., Marfenina O.E., Polianskaia L.M., Stepanov A.L., Umarov M.M. The role of microorganisms in the ecological functions of soils [Rol' mikroorganizmov v ekologicheskoi funktsii pochvy]. Pochvovedenie Eurasian Soil Science, 2015, no. 9, pp. 959–967. DOI: 10.1134/S1064229315090033.
- 2. Levitskaia N.G., Ivanova G.F. Klimat i urozhai Saratovskoi oblasti. Izmenchivost' i produktivnost' klimata Saratovskoi oblasti na fone global'nogo potepleniia [Climate and harvest of the Saratov area. Changeability and productivity of climate of the Saratov area on a background the global warming].

- ISBN: 978-3-659-55281-6. Saarbrucken, Krug Lambert akademicheskoe izdanie, 2014, 50.
- 3. Saifullina L.B., Kurdiukov Iu.F., Shubitidze G.V., Kulikova V.A. Influence of crop rotations on natural and resource potential of soil mineral nitrogen and harvest development of winter whea [Vliianie sevooborotov na prirodno-resursnyi potentsial mineral'nogo azota pochvy i formirovanie urozhaia ozimoi pshenitsy]. Uspekhi sovremennogo estestvoznania Advances in current natural sciences, 2017, no. 9, pp. 41–46.
- 4. Podkolzin O.A., Esaulko A.N., Grechishkina Iu.I., Gorbatko L.S., Radchenko V.I., Lobankova O.Iu., Sigida M.S, Korostylev S.A., Diniakova S.V. Agrokhimicheskie obsledovaniia i monitoring pochvennogo plodorodiiaTip: uchebnoe posobie Iazyk: russkii [The Agrochemical inspections and monitoring of soil fertility]. Stavropol, AGRUS, 2009, 252.
- 5. GOST 26951-86. Pochvy. Opredelenie nitratov ionometricheskim metodom. M.: Izd-vo standartov, 1986. 7 p.
- 6. Levitskaia N.G., Ivanova G.F. Meteorologicheskie i sinopticheskie usloviia anomal'noi pogody v Saratove za vesennii period 2016 goda [ Meteorological and weather terms of anomalous weather in Saratov for spring period 2016 year ]. II Mezhdunarodnye nauchnye chteniia (Pamiati S.F. Kovalevskoi) (g. Moskva, 20–20 fevralia 2016 g.) [Proceedings of Second International scientific readings (memory of S.F. Kovalevskaya) (Moscow, February 20–20, 2016)], Moscow, Evropeiskii fond innovatsionnogo razvitiia, 2016, pp. 75.
- 7. Ivanova G.F., Levitskaia N.G., Tsyplukhina P.V. Anomal'nye usloviia pogody i sinopticheskie protsessy vesny 2017 goda na territorii Saratovskoi oblasti [Abnormal conditions of weather and synoptic processes of spring of 2017 in the territory of the Saratov region]. Innovatsionnye podkhody v sovremennoi nauke (g. Saratov, 13 aprelia 17 dekabria 2018 g.) [Proceedings of Innovative approaches in modern science (Saratov, April 13 December 17, 2018)], Moscow, Internauka, LLC, 2017, pp. 18–25.

УДК 630\*12:630\*16:630\*182

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ПОВЫШЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ ОЗЕЛЕНЕНИЯ

Семенютина А.В., Подковыров И.Ю., Подковырова Г.В., Семенютина В.А.

ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения» Российской академии наук, Волгоград, e-mail: vnialmi@yandex.ru

Объекты озеленения с насаждениями общего и ограниченного пользования являются динамично развивающимися системами, которые связывают природные компоненты ландшафта с городской застройкой и способствуют формированию комфортной и благоустроенной среды. Актуальность определяется необходимостью анализа современного состояния озеленительных насаждений и разработки эколого-экономического обоснования их оптимизации. Цель - изучить эффективность мероприятий по повышению биоразнообразия при реконструкции зеленых насаждений и дать эколого-экономическую оценку оптимизации деградированных объектов озеленения в засушливых условиях. Выявлено, что значительное увеличение площадей деградирующих насаждений связано с возрастающей антропогенной нагрузкой и преобладанием монокультур в Волгоградской агломерации. Изучены рост, состояние и декоративность типов посадок. В связи с тем, что видовой состав зеленых насаждений изменяется в пространстве и во времени, линейные функции не в полной мере отражают биологические процессы, обуславливающие развитие насаждений. Применены методы дифференциальных уравнений на основе экспериментальных данных. Установлено, что разнообразные условия городской агломерации требуют различных приёмов формирования зеленых насаждений. Показана эколого-экономическая эффективность мероприятий по повышению биоразнообразия деревьев и кустарников при реконструкции объектов озеленения и организации адаптивных озелененных территорий. Выявлено, что создание газонов и реконструкция древостоя (биологические системы) требует наибольших вложений (2240,0 тыс. руб). Необходимо определить возможность интеграции проектов реконструкции объектов озеленения при разработке планов озеленения в рамках проектов реновации городских территорий. Реновация зеленых насаждений на основе обогащения их видового состава изменения структуры посредством соотношения жизненных форм растений направлены на оптимизацию объектов реконструкции.

Ключевые слова: эколого-экономическая оценка, биоразнообразие, реконструкция, деревья и кустарники, оптимизация, обогащение дендрофлоры, объекты озеленения, адаптация, подбор древесных видов, типы посадок

### EVALUATION OF EFFICIENCY OF ACTIVITIES DIRECTED TO IMPROVE BIODIVERSITY IN RECONSTRUCTION OF OBJECTS OF GARDENING

Semenyutina A.V., Podkovyrov I.Yu., Podkovyrova G.V., Semenyutina V.A.

Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of Russian Academy of Sciences, Volgograd, e-mail: vnialmi@yandex.ru

Greening facilities with public and restricted areas are dynamically developing systems that connect the natural components of the landscape with urban development and contribute to the formation of comfortable environment. The relevance is determined by the need to analyze the current state of landscaping and development of ecological and economic justification of their optimization. The aim is to study the effectiveness of measures to increase biodiversity in the reconstruction of green areas and to give an ecological and economic assessment of the optimization of degraded landscaping in arid conditions. It is revealed that the use of predominantly ordinary plantings of monocultures in the Volgograd agglomeration has led to the emergence of significant areas of rapidly aging plantations, which are subject to degradation due to increasing anthropogenic load. The work is based on studies of the growth and decorative condition of different types of plantings. It was revealed that a significant increase in the areas of degraded plantations is associated with an increasing anthropogenic load and the prevalence of monocultures in the Volgograd agglomeration. The growth, condition and decorativeness of planting types were studied. The methods of differential equations are applied on the basis of experimental data. It is established that various conditions of urban agglomeration require different methods of formation of green spaces. Ecological and economic efficiency of measures on increase of biodiversity of trees and bushes at reconstruction of objects of gardening and the organization of adaptive green territories is shown. It was revealed that the creation of lawns and the reconstruction of tree plantations (biological systems) requires the greatest investment (2,240.0 thousand Rub.). It is necessary to define possibility of integration of projects of reconstruction of objects of gardening at development of plans of gardening within projects of renovation of city territories. Renovation of green plantations on the basis of enriching their species composition changes in structure through the ratio of plant life forms are aimed at optimizing the reconstruction objects.

Keywords: environmental and economic evaluation of biodiversity, reconstruction, trees and shrubs, optimization, enrichment of dendroflora, green space, adaptation, selection of tree species, types of plantings

В малолесных регионах озеленительным насаждениям отводится особая роль – экологическая и социальная [1].

При создании и реконструкции объектов озеленения учитывают региональную специ-

фику и закономерности развития деревьев и кустарников на каждом этапе [2; 3]. Активное управление отдельными элементами ландшафта, включая функциональную нагрузку, недостаточно разработано для

засушливых условий [3]. В таких условиях требуется адаптация озеленительных насаждений к урболандшафту [2; 4]. Это реализуется при высокой степени соответствия древесных видов к условиям окружающей среды с учетом функционального назначения объекта, а также градостроительного регламента [1; 5; 6].

В рассматриваемом регионе в рекреационных целях используется 19,2 тыс. га зеленых насаждений, из них 64,1% приходится на г. Волгоград, 20,8% — на г. Волжский и 3,6% — на г. Михайловка. Зеленые насаждения урболандшафта поддерживают функциональные связи между компонентами как экологический каркас. Курортные леса, пригородные зелёные зоны, природные парки предназначены для лечения населения в течение всего года, а также являются местом для массового отдыха, как и рекреационные леса [6].

Они необходимы в малолесных регионах с засушливым климатом, где возрастающая техногенная нагрузка и сложные природные условия негативно влияют на комфортность микроклимата и рост древесных растений.

В связи с этим в Волгоградской области лесные насаждения (711 тыс. га) используются для отдыха населения. Основная часть лесных насаждений находится в ведении государственного лесного фонда — 546,6 и ООО «Сельхозлес» — 145,2 тыс. га [3].

Экологическая устойчивость зеленых насаждений в урболандшафтах достигается за счет расширения перечня декоративных деревьев и кустарников, а также повышения разнообразия типов и видов насаждений [4].

Важность и значение использования древесных видов для рекреационно-озеленительных насаждений определяются следующими особенностями [1; 7]: санитарно-гигиеническими свойствами, декоративностью растений; способностью их расти при загрязнении почвы, атмосферы и возрастающих рекреационных нагрузках и др.

Биологическую устойчивость и ландшафтно-эстетическую ценность насаждений определяет правильный подбор видового состава растений и учет функционального назначение объекта озеленения [3, 8].

Цель — изучить эффективность мероприятий по повышению биоразнообразия при реконструкции объектов озеленения и дать эколого-экономическую оценку оптимизации деградированных объектов озеленения в засушливых условиях.

Работа основана на результатах многолетних исследований по росту, состоянию и декоративности типов посадок при формировании адаптивных объектов озеленения.

### Материалы и методы исследования

Объекты исследований расположены в Волгоградской агломерации — рекреационно-озеленительные насаждения общего и ограниченного пользования: учебных (Волгоградский ГАУ, МОУ СШ № 100) и лечебных учреждений (Клиника № 1 ВолгГМУ); бульвара по ул. Кирова и внутри кварталов по ул. Мира.

Разнообразные условия Волгоградской агломерации определяют различия в приёмах формирования рекреационных насаждений. Организация адаптивных озеленённых территорий обеспечивает максимально возможное использование природных ресурсов для массового отдыха населения и улучшения экологической обстановки.

В исследованиях выделены три основных направления. Анализировался существующий опыт формирования и эксплуатации насаждений. На опытных объектах учебных и лечебных учреждений проводился сбор материалов по росту, развитию и декоративному состоянию насаждений. Реконструкция осуществлена на стационарных участках по созданию насаждений на основе подбора и расширения биоразнообразия ассортимента растений и типов посадок.

Исследования выполнялись на пробных площадях с использованием ландшафтной таксации и детальной инвентаризации по общепринятым методикам. Участки выбирали с учётом их пространственной структуры и экологического режима.

Оценка реконструкции объектов озеленения проведена на основе расчета балансовой стоимости насаждений по формуле, предложенной М.В. Быковой [9]:

$$Sb = ST + X(Psi + K \times Pu;)xu; + ... +$$

$$+ X(Psm + K \times Pum) \times Um + X(Pst + K \times Put) + ... +$$

$$+ X(Psr + K \times Pur) + Ab + Gb + Pu, \quad (*)$$

где ST – затраты на планировку территории, руб.; Psi ... Psm – затраты на посадку одного саженца (дерева), руб. по смете; Pst ... Psr – затраты на посадку кустарника, живой изгороди однорядной (1 пог. м), К – период эксплуатации объекта, лет; Pu; ... Pum – затраты на уход за одним растением (дерево, кустарник, живая изгородь); Pu – затраты на уход за 1 м газона и/или цветника; Uj ... Um – возрастной коэффициент для расте-

ний (деревьев); Ab — балансовая стоимость малых архитектурных форм и дорожного покрытия; Gb — затраты на создание газона и элементов цветочного оформления, руб.

Балансовая стоимость определяется общим состоянием зеленых насаждений. Коэффициент 0,75 соответствует удовлетворительному состоянию. При формировании объектов озеленения оценка мероприятий по реконструкции проводилась с использованием многолетних материалов и математических методов [10].

### Результаты исследования и их обсуждение

Модельные участки по созданию насаждений были заложены в 2004 г. на территории Волгоградского ГАУ и в 2009 г. – Клиники N 1 ВолГМУ. По структуре,

состоянию и возрасту насаждений выбраны типичные объекты для сухостепного региона. Разработаны мероприятия по формированию зеленых насаждений с учетом анализа основных параметров объектов, современных нормативов и постановке полевого опыта на модельных участках по схеме (рис. 1).

На контрольных участках, прилегающих к модельным объектам, выполнены мероприятия первого и частично пятого этапа.

Для определения эффективности формирования озеленительных насаждений выбраны интегральные показатели: ландшафтно-эстетическая привлекательность и санитарно-гигиеническая оценка, устойчивость.

В результате нами выделены актуальные проблемы (табл. 1).

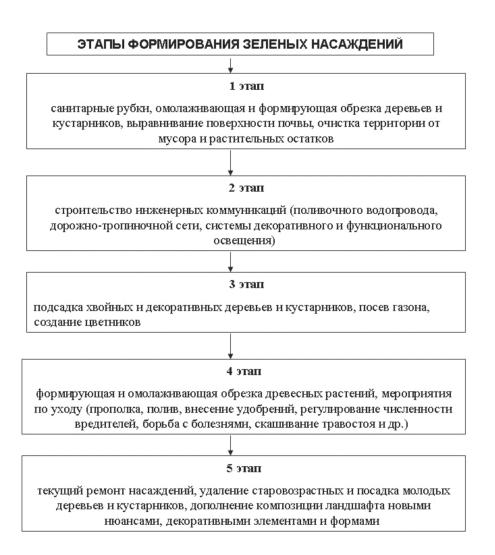


Рис. 1. Этапы повышения биоразнообразия объектов озеленения в засушливых условиях

### Таблица 1

### Проблемы озеленения городов Нижнего Поволжья [3]

Градостроительные	Нереализованность единого плана развития системы озеленения Разобщённость существующих зелёных насаждений и подчинённость разным ведомствам Неравномерное распределение зелёных зон по районам города Недостаточное количество площадей зелёных насаждений (ниже норматива в 1,5–2,5 раза)
Экологические	Деградация растительности вследствие загрязнения городской среды Ошибки в подборе ассортимента видов Повсеместное создание низкотолерантных монокультур Использование для создания насаждений неадаптированного посадочного материала, завозимого из других регионов без учёта его районирования
Экономические	Отсутствие единого экономического обоснования расходов на создание и содержание системы зелёных насаждений Недостаточность финансирования городского озеленения
Социальные	Увеличение риска несчастных случаев вследствие аварийного состояния многих зелёных насаждений Низкие эстетические свойства, приводящие к ухудшению психоэмоционального состояния населения

Решение проблем озеленения должно осуществляться в соответствии с российским законодательством. Создание новых и реконструкцию старовозрастных насаждений проводить в соответствии с нормативами [5].

Реализацией комплекса мероприятий достигается:

- увеличение объема работ по закладке зелёных насаждений;
- подбор и расширение перечня видового состава декоративных деревьев и кустарников;
- реконструкция деградирующих зеленых насаждений для создания разновозрастных, многовидовых искусственных ценозов, эффективно выполняющих санитарно-гигиеническую, ландшафтно-эстетическую и рекреационную функции;
- разработка экологического и экономического обоснования целесообразности проводимых мероприятий.

Разнообразием видов, входящих в состав насаждения, достигается выполнение таких функций, как санитарно-гигиенические, декоративные, мелиоративные [4].

Видовой состав фитоценозов является определяющим критерием его устойчивости и долговечности [3]. Сложные по составу насаждения являются не только наиболее полноценными, но и интересны композиционно и привлекательны для рекреации [2, 3].

Центральное место занимает озеленение среди комплекса экологических проблем в населенных пунктах Волгоградской области. Сложилась неуправляемая ситуация в области эксплуатации и воспроизводства единой системы озеленения муниципаль-

ных образований, где зеленые насаждения выполняли бы функции экологического каркаса урболандшафта [11, 12].

В настоящее время земельные участки с зелёными насаждениями находятся в оперативном управлении организаций разных форм собственности [3]. По состоянию зелёного фонда судят о доходности деятельности руководителя. Как правило, озеленительные насаждения, не принося чистой прибыли, являются «визитной карточкой», выполняя рекламные функции и косвенно влияя на привлекательность территории организации. Рыночная стоимость земельного участка с ухоженными и благоустроенными зелеными насаждениями может быть увеличена до 35 %.

Балансовая стоимость насаждений рассчитана согласно формуле (\*):

$$Sb = ((108000 + (62920 + 50 \times 121726) \times 1,7 + \\ + (94162,5 + 50 \times 11376) \times 0,72 + (264639,37 + \\ + 50 \times 6816,88) \times 1,45 + (282735 + 50 \times 4400) \times 0,35 + \\ + 120000 + 25000 + 8000 + 1350000)) \times 0,75 = \\ = 10115936,34 \text{ py6.},$$

где ST = 108000 руб.; Psj ... Psm — 62920 руб. (484 шт. деревьев);  $Ps = 300 \times 313,87 = 94162,5$  руб.; для одиночной посадки  $Ps = 329 \times 804,37 = 264639,37$  руб.; K = 50 лет;

Ри; ... Рит — денежные средства, затрачиваемые ежегодно на уход: для деревьев  $484\times251,80=121,73$  тыс. руб.; для живых изгородей  $300\times37,92=11,38$  тыс. руб.; для кустарников  $329\times20,72=6,82$  тыс. руб.; для цветника  $250\times17,60=4,4$  тыс. руб.;

Аb – балансовая стоимость: 10 уличных фонарей (12 тыс. руб/шт.); монумент (25 тыс. руб.); садовая мебель для сидения (4 шт. по 2 тыс. руб/шт.); 0,2 га дорожного покрытия (1350 тыс. руб.; материал – асфальт).

Gb – затраты на создание цветника  $250 \times 1130,94 = 282,74$  тыс. руб. [3, 9].

Отмечены колебания выделенных денежных средств на проведение мероприятий по годам (рис. 2). Трудоёмкие работы (около 25% от общих затрат) выполняются на первом этапе реконструкции. На следующих этапах затраты снижаются в 4–5 раза. Аналогичная закономерность наблюдается и на других опытных объектах, что позволяет планировать объёмы работ и определять затраты в будущем.

По результатам расчета балансовой стоимости насаждений построена модель структуры затрат [3]. Создание газонов и реконструкция древостоя (биологические системы) требует наибольших вложений (рис. 3).

#### Выводы

На примере Волгоградской агломерации выявлено, что функционирование объектов озеленения лимитируют: нерациональная организация ландшафта, а также возрастная структура посадок, незначительное представительство кустарников и типов посадок. При реконструкции озеленительных объектов общего и специального назначения необходимо решить следующие задачи: улучшить биоресурсы; организовать адаптацию ландшафтного пространства и повысить уровень биологического разнообразия. Чем разнообразнее структура, тем выше рекреа-

ционная значимость и привлекательность объекта. Оценка ландшафтно-эстетических показателей по объектам озеленения, комплексный анализ структуры зеленых насаждений обуславливают принципы зонирования и организации ландшафта. Мероприятия по реконструкции определяются с учетом существующего состояния объектов озеленения и природно-климатических условий урбанизированных территорий. Детальная оценка позволяет определить стратегию работ.

Затраты по реконструкции включают: удаление аварийных (усохших) деревьев, пней; омолаживающую и санитарную обрезку, организацию полива, посадку деревьев и кустарников, устройство газонного покрытия и установку малых архитектурных форм (урны, скамейки, беседки и др.).

Эколого-экономическая оценка мероприятий по реконструкции зеленых насаждений в малолесных регионах выявлена на исследованиях, в основе которых использован метод обогащения и повышения биоразнообразия. Разнообразить монокультуры городской агломерации различными типами посадок рекомендуется введением деревьев и кустарников летнего цветения и декоративной осенней окраски листьев.

При формировании адаптивных озелененных территорий следует монокультуры, созданные линейными посадками, разнообразить другими типами (солитер, аллея, бордюр, живая изгородь, вертикальное озеленение, газон и др.). Подбор ассортимента древесных видов проводить диффенцированно — согласно региональным рекомендациям.

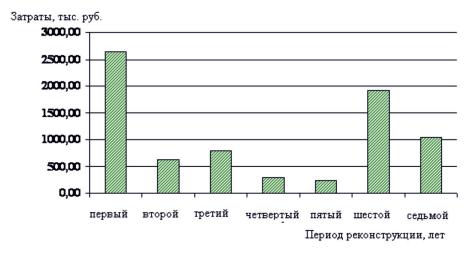


Рис. 2. Затраты на разных этапах реконструкции (на примере сквера Волгоградского ГАУ)

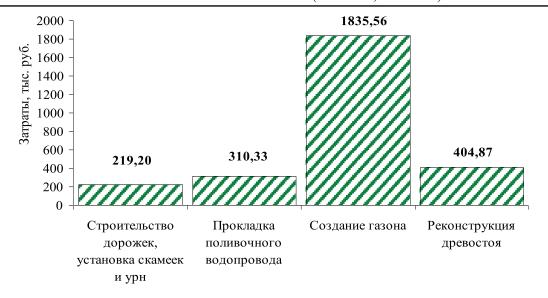


Рис. 3. Структура затрат при реконструкции сквера (в расчете на 1 га)

Установлена эколого-экономическая ценность рекреационной функции объектов озеленения на территории общего пользования (парки, скверы, зоны отдыха). Модель структуры затрат на примере реконструкции объектов озеленения Волгоградской агломерации (сквер ВолГАУ) около 890 тыс. руб. на 1 га со следующим распределением: создание газона — 66%; реконструкция древостоя — 16%; строительство дорожек и малых архитектурных форм; устройство оросительной системы по 9%.

### Список литературы

- 1. Квартовкина Л.К. Проблема озеленения селитебных территорий / Л.К. Квартовкина, А.В. Семенютина // Гигиена и санитария. 2007. N 6. С. 37–38.
- 2. Кругляк В.В. Модели архитектоники рекреационных насаждений для адаптивных систем озеленения / В.В. Кругляк, А.В. Семенютина, Е.И. Гурьева // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2017. № 3. С. 108–112.
- 3. Подковырова Г.В. Состояние и перспективы формирования рекреационно-озеленительных насаждений: на примере Волгоградской агломерации: дис... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Волгоград, 2012. 161 с.
- 4. Терешкин А.В. Биоэкологическая эффективность применения кустарников в насаждениях зеленых зон населенных пунктов / А.В. Терешкин, Т.А. Андрушко, В.И. Петров, А.В. Семенютина // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия естественные и технические науки. -2015. № 9–10. C. 51–63.
- 5. СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Введен  $20.05.2011.-\mathrm{M.:}$  ОАО «ЦПП», 2011.-105 с.
- Доклад о состоянии окружающей природной среды Волгоградской области в 2007 г. – Волгоград: Областной комитет по охране окружающей природной среды, 2008. – С. 3–131.
- 7. Shchepeleva A.S., Vasenev V.I., Mazirov I.M., Vasenev I.I., Prokhorov I.S., Gosse D.D. Changes of soil organic

- carbon stocks and  $CO_2$  emissions at the early stages of urban turf grasses' development // Urban Ecosystems. 2017. T. 20,  $N_2 = 2$ . C. 309–321.
- 8. Рысин С.Л. Новый подход к созданию рекреационных искусственных насаждений / С.Л. Рысин // Лесное хозяйство. -1999. № 3. С. 22-23.
- 9. Быкова М.В. Повышение экономической эффективности функционирования отрасли городского зеленого хозяйства мегаполиса: на примере г. Москвы: дис... канд. экон. наук: 08.00.05. Москва, 2001. 206 с.
- 10. Математические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве / В.Л. Черных, Н.А. Власова, Н.Г. Кисилёва, Д.М. Ворожцов. Йошкар-Ола: Изд-во Поволжский гос. технологический ун-т, 2011. 80 с.
- 11. Carreiro M.M., Song Y-C. Ecology, planning and management of urban forest: International Perspectives. Springer-New York, Publishers, 2008.-467~p.
- 12. Konijnendijk C.C. The Forest and the City: The cultural landscape of urban woodland. Springer, 2008. 245 p.

#### References

- 1. Kvartovkina L.K., Semeniutina A.V. The problem of gardening in urban areas [Problema ozeleneniia selitebnykh territorii]. Gigiena i sanitariia Hygiene and sanitation, 2007, no. 6, pp. 37–38.
- 2. Krugliak V.V., Semeniutina A.V., Gur'eva E.I. Model architectonics recreational spaces for adaptive systems landscaping [Modeli arkhitektoniki rekreatsionnykh nasazhdenii dlia adaptivnykh sistem ozeleneniia ]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriia: Geografiia. Geoekologiia Bulletin of Voronezh state University. Series: Geography. Geoecology, 2017, no. 3, pp. 108–112.
- 3. Podkovyrova G.V. Sostoianie i perspektivy formirovaniia rekreatsionno-ozelenitel'nykh nasazhdenii: na primere Volgogradskoi aglomeratsii [State and prospects of the formation of recreational and greenery plantations: the example of the Volgograd agglomeration]. diss... kand. s.-kh. nauk: 06.03.03. Volgograd, VNIALMI, 2012, 206.
- 4. Tereshkin A.V., Andrushko T.A., Petrov V.I., Semeniutina A.V. Bioecological efficiency of the use of shrubs in plantations of green zones of settlements [Bioekologicheskaia effektivnost' primeneniia kustarnikov v nasazhdeniiakh zelenykh zon naselennykh punktov]. Sovremennaia nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriia estestvennye i tekhnicheskie nauki –

- Modern science: actual problems of theory and practice. A series of natural and technical sciences, 2015, vol. 9, no. 10, pp. 51–63.
- 5. SP 42.13330.2011. Gradostroitelstvo. Planirovka i zastroyka gorodskikh i selskikh poseleniy [Town planning. Planning and development of urban and rural settlements], It is entered on 20.05.2011. [Vveden 20.05.2011]. Moscow: JSC «TsPP», 2011. 105 p.
- 6. Doklad o sostoianii okruzhaiushchei prirodnoi sredy Volgogradskoi oblasti v 2007 g. [Report on the state of the environment of the Volgograd region in 2007]. Volgograd, Oblastnoi komitet po okhrane okruzhaiushchei prirodnoi sredy, 2008, 3–131.
- 7. Shchepeleva A.S., Vasenev V.I., Mazirov I.M., Vasenev I.I., Prokhorov I.S. Changes of soil organic carbon stocks and CO2 emissions at the early stages of urban turf grasses' development. Urban Ecosystems, 2017, vol. 20, no. 2, pp. 309–321.
- 8. Rysin S.L. A new approach to the creation of recreational artificial plantations [Novyi podkhod k sozdaniiu rekreatsion-

- nykh iskusstvennykh nasazhdenii ]. Lesnoe khoziaistvo Forestry, 1999, no. 3, pp. 22–23.
- 9. Bykova M.V. Povyshenie ekonomicheskoi effektivnosti funktsionirovaniia otrasli gorodskogo zelenogo khoziaistva megapolisa: na primere g. Moskvy [Increase of economic efficiency of functioning of branch of city green economy of a megacity: on an example of of Moscow]. dis... kand. ekon. nauk: 08.00.05. Moscow, 2001, 206.
- 10. Chernykh V.L., Vlasova N.A., Kisileva N.G., Vorozhtsov D.M. Matematicheskie metody v lesnom khoziaistve i landshaftnom stroitel'stve [Mathematical methods in forestry and landscape construction]. Yoshkar-Ola, Izd-vo Povolzhskii gos. tekhnologicheskii un-t, 2011, 80.
- 11. Carreiro M.M., Song Y-C. Ecology, planning and management of urban forest: International Perspectives. New York, Springer Publishers, 2008, 467 p.
- 12. Konijnendijk C.C. The Forest and the City: The cultural landscape of urban woodland. Berlin, Springer, 2008, 245 p.

УДК 551.551

### МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВНЕШНИХ МАСШТАБОВ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

### Гладких В.А., Невзорова И.В., Одинцов С.Л.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, e-mail: glvl@iao.ru

В статье рассмотрены методические вопросы определения внешних масштабов температурной и ветровой турбулентности при измерениях в приземном слое атмосферы. За основу взята методика, основанная на анализе структурных функций изучаемых метеорологических величин. При этом предполагается, что форма структурных функций в области «инерционного интервала турбулентности» может отличаться от обычно предполагаемой степенной зависимости от аргумента с показателем степени 2/3 (закон Колмогорова - Обухова «2/3»). На конкретных примерах показаны возможные отличия рассчитываемых внешних масштабов турбулентности с использованием классического «закона 2/3» и с использованием более точного определения формы структурной функции на текущем интервале обработки. Обсуждаются различия в оценках внешних масштабов турбулентности, связанные с процедурой выделения турбулентных составляющих исследуемых метеорологических величин из исходных (в общем, случайных и нестационарных) выборок. Демонстрируется, что для более адекватного выделения турбулентных составляющих (и более точного оценивания внешних масштабов турбулентности) следует использовать вычитание из исходных выборок не выборочных средних, как это обычно делается, а скользящих средних, полученных на интервалах обработки. На основе результатов обработки экспериментальных данных проиллюстрировано изменение статистики внешних масштабов турбулентности в зависимости от применяемых методик обработки. Применение изложенной в статье «уточненной» методики определения внешних масштабов турбулентности существенно сужает области их вариации. Обращается внимание на то, что при использовании «уточненной» методики эмпирические гистограммы внешних масштабов турбулентности температуры воздуха и трех компонентов вектора ветра стремятся к логарифмически нормальному закону распределения.

Ключевые слова: атмосфера, структурные функции, внешний масштаб турбулентности

### METHODICAL ASPECTS OF DETERMINATION OF THE OUTER SCALES OF TURBULENCE

### Gladkikh V.A., Nevzorova I.V., Odintsov S.L.

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, e-mail: glvl@iao.ru

The paper considers methodical issues concerning determination of the outer scales of temperature and wind turbulence at variations in the atmospheric surface layer. The used technique is based on the analysis of structure functions of meteorological parameters under study. It is assumed that the form of the structure functions in the inertial rage of turbulence may differ from the usually used 2/3 power dependence (Kolmogorov – Obukhov 2/3 law). Possible differences in the outer scales of turbulence calculated with the classical 2/3 law and with the more accurate determination of the form of the structure function at a current processing range are demonstrated with particular examples. Differences in estimates of the outer scales of turbulence associated with the procedure of separation of turbulent components of the studied meteorological parameters from rough (generally, random and nonstationary) samples are discussed. It is demonstrated that for the more adequate separation of turbulent components (and more accurate estimation of the outer scales of turbulence) not the sample averages should be subtracted from rough samples, as usually, but moving averages obtained at processing ranges. The results of processing of experimental data are used to illustrate the changes in statistics of the outer scales of turbulence for different processing techniques applied. The use of the improved technique for determination of the outer scales of turbulence decreases significantly their variability range. It should be noted that when the improved technique is applied, empirical histograms of the outer scales of turbulence of the air temperature and three components of the wind vector tend to the lognormal distribution law.

Keywords: atmosphere, structure function, outer scale

При решении широкого круга задач физики атмосферы и метеорологии необходимо иметь данные о состоянии приземного (в пределах нескольких десятков метров от подстилающей поверхности) слоя атмосферы. В частности, требуется учитывать различные характеристики турбулентных составляющих как температурного, так и ветрового поля. С этой целью обычно используются модельные представления этих характеристик. При этом модели базируются в основном на тех эмпирических данных, которые получены в условиях «классической» («кол-

могоровской») турбулентности. Однако реальные условия, для которых необходимо решение задач турбулентного тепломассообмена в приземном слое, могут существенно отличаться от «идеальных» [1–3]. Важным параметром при решении этих задач служат масштабы турбулентности температурного поля T и компонентов вектора ветра (продольной U, поперечной V и вертикальной W составляющих). Внешний масштаб турбулентности температурного поля помимо задач физики атмосферы активно используется и в других областях, например в теоре-

тических [4, 5] и прикладных [6–8] проблемах распространения оптических волн в атмосфере. Для оценки масштабов применяются разнообразные методики. В ряде случаев эти методики специально подбираются для решения конкретных задач. Примером может служить обзорная статья [9], ориентированная на решение проблем, связанных с астрономическими наблюдениями. В своих исследованиях мы ориентировались на методику определения внешних масштабов через структурные функции метеорологических величин. Эту методику можно отнести к разряду «классических», поскольку результаты параметризации структурных функций (включая оценки масштабов турбулентности) являются основой многочисленных практических приложений. Однако неучет некоторых деталей ее применения может привести к существенным неточностям определения внешних масштабов.

Цель исследования: уточнение методики определения внешних масштабов турбулентности, основанной на анализе структурных функций исследуемых метеорологических величин.

### Материалы и методы исследования

Структурная функция (СФ) какого-либо скалярного метеорологического параметра X может быть записана в виде [10]

$$D_X(\vec{R}, \vec{r}) = \left\langle \left[ X(\vec{R}) - X(\vec{R} + \vec{r}) \right]^2 \right\rangle, \quad (1)$$

где R обозначает точку в пространстве, а  $R + \vec{r}$  – другую (произвольную) точку, отстоящую от первой на расстоянии  $r = |\vec{r}|$ . Угловые скобки обозначают усреднение по ансамблю реализаций. В случае, если параметр X относится к классу однородных (локально однородных) и изотропных полей, СФ  $D_{y}(r)$  будет зависеть только от модуля сдвига г. Для векторных величин, таких как вектор ветра, следует сформировать структурный тензор, подобный (1), но составленный из компонентов этого вектора. Однако данный аспект проблемы мы не будем рассматривать, поскольку в дальнейшем анализируются отдельные компоненты вектора ветра, выступающие как скалярные величины и формирующие СФ вида (1). Полагая далее, что условия существования СФ метеорологической величины Х, заданные в [10], выполнены, запишем ее «классическую» параметризацию в виде

$$D_X(r) = C_X^2 r^{\mu}, \qquad (2)$$

где  $C_X^2$  — структурная характеристика величины X. Размерность  $C_X^2$  должна согласо-

вываться с размерностью  $X^2$  и множителя  $r^{\mu}$ . Параметризация (2), согласно [10], справедлива для пространственных «сдвигов» rв диапазоне  $l_{\scriptscriptstyle X}$  << r <<  $L_{\scriptscriptstyle X}$  , где  $l_{\scriptscriptstyle X}$  и  $L_{\scriptscriptstyle X}$  – соответственно внутренний и внешний масштабы турбулентности («инерционный интервал турбулентности»). Вне этого интервала СФ будет иметь иной вид. Важно отметить, что для существования СФ в форме (2) показатель степени µ должен находиться в диапазоне  $0 < \mu < 2$  [10]. «Классическим» значением, следующим из общей теории турбулентности Колмогорова - Обухова, считается  $\mu = 2/3$ . В случае однородности поля X структурная функция  $D_{\chi}(r)$  при значениях  $r >> L_X$  будет стремиться к «насыщению» на уровне удвоенной дисперсии  $\sigma_x^2$ величины X и имеет место соотношение [10]

$$D_X(r \to \infty) = 2\sigma_X^2 = C_X^2 L_X^{\mu}. \tag{3}$$

Если же поле X является локально однородным (например, со стационарными первыми приращениями), то «насыщения»  $D_X(r)$  не будет [10]. Согласно (3), если известны значения  $\sigma_X^2$  и  $C_X^2$ , то внешний масштаб турбулентности  $L_X$  может быть определен по формуле

$$L_X = \left(2\sigma_X^2 / C_X^2\right)^{\gamma},\tag{4}$$

где показатель степени  $\gamma = 1/\mu$ . Не приводя какого-либо дополнительного обзора литературы, отметим, что очень часто как в теоретических выкладках, так и при решении прикладных задач автоматически полагается, что СФ параметризируется в виде (2) и всегда  $\mu = 2/3 \stackrel{?}{\approx} 0,667$  ( $\gamma = 1,5$ ). Однако СФ метеорологических величин (температуры воздуха, компонентов вектора ветра) далеко не всегда могут быть аппроксимированы с помощью формулы (2). Проведенные нами исследования показали [11-13], что над территориями с усложненной текстурой подстилающей поверхности параметризация СФ в форме (2) является скорее исключением, чем правилом. Не вдаваясь в детали, которые можно узнать в [11–13], укажем, что было выделено три возможных типа СФ, одним из которых является формула (2). В обобщенном виде эти типы можно записать в форме

$$D_X(r) \approx C_X^2 r^{\mu} G(r) , \qquad (5)$$

где безразмерная функция G(r) зависит от типа СФ и равна единице при r=1 м для любого типа. Область существования СФ в форме (5) ограничивается некоторым сдвигом  $r=r_{MX}$ , при превышении которого формула (5) уже не обеспечивает хорошее качество аппроксимации эмпириче-

ской функции  $D_{\chi}(r)$ . Структурная функция в форме (5) также подразумевает переход к «насыщению» на уровне  $2\sigma_{\chi}^2$  при сдвиге  $r > L_{\chi}$ .

С формальной точки зрения можно было бы положить выполнение равенства

$$D_{\mathcal{X}}(r \to \infty) = 2\sigma_{\mathcal{X}}^2 = C_{\mathcal{X}}^2 L_{\mathcal{X}}^{\mu} G(L_{\mathcal{X}}) \qquad (6)$$

и решить данное уравнение (в общем случае нелинейное) относительно  $L_{\chi}$ . Однако на данном этапе работы мы упростили постановку задачи и использовали для вычисления  $L_{\chi}$  соотношение вида (4), но с показателем степени к, соответствующим наклону касательной к структурной функции вида (5) в точке r=1 м:

$$L_X = \left(2\sigma_X^2 / C_X^2\right)^{\kappa}. \tag{7}$$

Нетрудно убедиться, что если СФ вида (5) имеет тип, соответствующий формуле (2), то выполняется равенство  $\gamma = \kappa$ . Для двух других типов, введенных в [11, 13],  $\gamma \neq \kappa$ . В этой связи одной из задач нашей работы являлось определение показателя степени к, расчет по формуле (7) масштаба  $L_{v}$ вычисление масштаба  $L_{xc}$  по формуле (4) при  $\mu = 2/3$ , оценка различий  $L_{Y}$  и  $L_{YC}$ . Вычисления осуществлялись на основе экспериментальных данных, полученных с помощью ультразвуковых метеостанций (УЗМ) «Метео-2» [14]. Место измерений – большая поляна, окруженная лесопосадками средней высоты (территория обсерватории «БЭК» ИОА СО РАН). Высота размещения измерителя УЗМ – 10 м. Для обработки использовались выборки величин X по времени в некоторой фиксированной точке пространства. Отсчеты при измерениях производились с частотой  $f \sim 10 \, \Gamma$ ц. Переход к пространственным координатам подразумевал гипотезу о «замороженной» турбулентности и осуществлялся с использованием формулы  $r = \tau V_h$ , где  $\tau - \mathrm{c}$ двиг во времени при оценках структурной функции, а  $V_{\scriptscriptstyle h}$  – средняя скорость ветра на интервале обработки  $\Delta t$ . При этом минимальный сдвиг, с которого могла быть вычислена СФ, составлял  $r_{\min} = V_h / f$  . В этой связи в обработку не включались эпизоды, когда имели место случаи  $V_h \ge 10$  м/с. На рис. 1 приведены примеры «эмпирических» структурных функций  $D_r(r)$  температуры воздуха T, подчиняющихся параметризации (2) (или параметризации (5) при  $G(r) \equiv 1$ ) в диапазоне  $r \le r_{MT}$ . Вычисления  $D_{T}(r)$  сделаны по выборкам длительностью  $\Delta t = 10$  мин. При этом до вычисления СФ из исходных выборок температуры воздуха были удалены скользящие средние данной величины ( $\tilde{T}$ ), полученные с использованием «временно́го окна» с размером  $\delta t=2$  мин. Фактически, оценка  $D_T(r)$  проводилась по выборкам случайной величины  $T'=T-\tilde{T}$ , которую мы полагали относящейся к классу стационарных случайных процессов. Такая же предварительная обработка делалась для всех исследовавшихся величин X. Более подробно об использовавшейся процедуре аппроксимации эмпирических структурных функций аналитическими выражениями можно узнать в [11, 13].

Графики функций  $D_r(r)$  на рис. 1 обозначены цифрами (1, 2, 3). Уровни удвоенных дисперсий, на которых должны «насыщаться» эти СФ, обозначены как 1d, 2d, 3d. Прямые линии, обозначенные как 1k, 2k, 3k, соответствуют случаю «колмогоровской» турбулентности с показателем степени в формуле (2)  $\mu = 2/3$ . Пересечение данных линий с уровнями, равными удвоенным дисперсиям, отмечено крупными точками. Проекции точек на ось абсцисс дают масштабы турбулентности  $L_{TC}$ . Прямые линии, обозначенные как 1е, 2е, 3е, соответствуют аппроксимации эмпирических СФ с «реальным» показателем степени µ. Пересечение этих линий с уровнями, равными удвоенным дисперсиям, отмечено «открытыми» звездочками. Проекции положения звездочек на ось абсцисс дают «истинные» значения масштабов турбулентности  $L_{T}$ Символами «Т» на графиках СФ обозначено завершение интервала, где справедлива аппроксимация (5). Им соответствуют сдвиги  $r = r_{MT}$ . Укажем также, что СФ под номером «1» имеет значение  $\mu \approx 1,141,$  под номером «2» –  $\mu \approx 0,667$  («классическое» значение), под номером «3» –  $\mu \approx 0.4$ . Примеры, приведенные на рис. 1, поясняют ту задачу, которая была поставлена при выполнении данной работы. В частности, для СФ под номером «1» ошибка в оценке внешнего масштаба температурной турбулентности составляет примерно 102 м  $(\tilde{L}_{TC} \approx 118$  м,  $L_{T} \approx 16$  м). А для  $\bar{\text{C}\Phi}$  под номером «3» — 3 м  $(L_{TC} \approx 3$  м,  $L_{T} \approx 6$  м). Понятно, что использование внешних масштабов турбулентности, вычисленных при «жестком» задании степени  $\mu = 2/3$  $(\gamma = 1,5)$  в формуле (4), может привести к значительным ошибкам в итоговых результатах. Без иллюстраций отметим, что аналогичная ситуация имеет место и для СФ компонентов вектора ветра.

Мы достаточно подробно изложили методические аспекты определения внешних

масштабов турбулентности в случае выполнения степенного закона (2) (или (5) при  $G(r) \equiv 1$ ). Рассмотрим теперь случай, когда функция  $G(r) \neq 1$  (кроме точки r = 1 м). Примеры структурных функций температуры воздуха такого типа приведены на рис. 2. Характерной в данном случае является «параболичность» формы СФ в логарифмических координатах в «инерционном интервале турбулентности», причем «параболичность» может быть как «выпуклой»

(график СФ под номером «1»), так и «вогнутой» (график СФ под номером «2»). Обозначения на рис. 2 имеют тот же смысл, что и на рис. 1:

- а) цифры с индексом «d» относятся к уровням «насыщения» С $\Phi$ , равным  $2\sigma_T^2$ ;
- б) цифры с индексом «е» помечают линии, касательные к СФ при r = 1 м;
- в) индексом «k» помечены линии с наклоном, соответствующим «колмогоровскому» показателю степени  $\mu = 2/3$ .

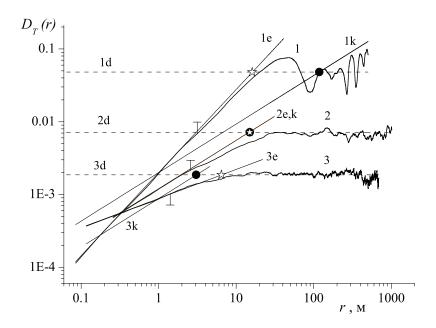


Рис. 1. Примеры структурных функций температуры воздуха, подчиняющихся в «инерционном интервале турбулентности» степенному закону (2)

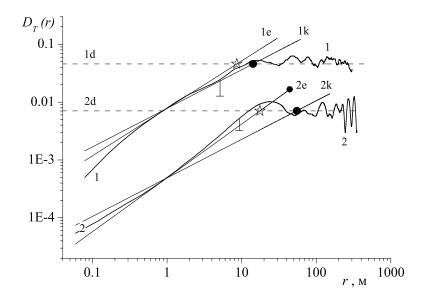


Рис. 2. Примеры структурной функции температуры воздуха, подчиняющейся в «инерционном интервале турбулентности» закону (5)

Координаты символов по оси абсцисс будут соответствовать внешним масштабам турбулентности  $L_T$  (звездочки) или  $L_{TC}$  (точки). Для СФ, помеченной цифрой «1», разность масштабов составляет примерно 5 м, а для СФ с номером «2» — около 34 м.

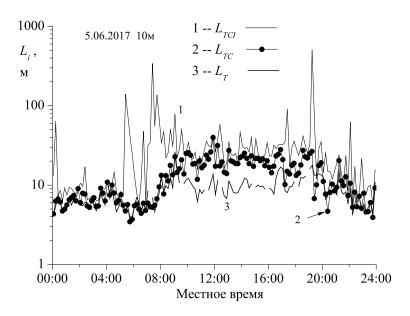
Приведенные на рис. 1 и 2 примеры достаточно убедительно демонстрируют возможность значительных ошибок в оценках внешних масштабов турбулентности при их определении на основе «колмогоровской» турбулентности (при которой всегда имеет место степенной закон (2) и  $\mu \equiv 2/3$ ). В то же время вычисления масштабов по формуле (7) с использованием эмпирических («текущих») значений показателя степени к обеспечивает вполне адекватные оценки  $L_{T}$ , в том числе для случаев, когда структурные функции описываются выражениями вида (5).

Считаем необходимым отметить еще один методический аспект, существенно влияющий на достоверность определения внешних масштабов турбулентности. Он связан с процедурой выделения турбулентных составляющих X' из исходных выборок X. Достаточно часто для получения X' используют формулу  $X' = X - \overline{X}$ , где  $\overline{X}$  — среднее арифметическое значение величины X на интервале обработки  $\Delta t$ . Однако даже на относительно коротких интервалах  $\Delta t$  нестационарность X может быть настолько значительной, что турбулентную составляющую X' нельзя отождествлять со стационарным случайным процессом и ис-

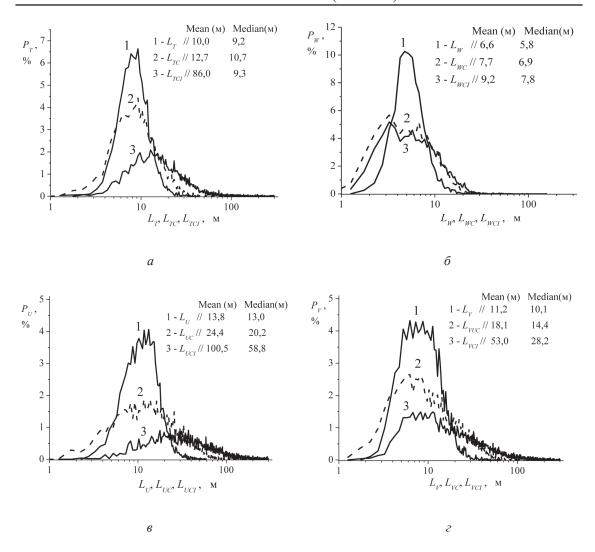
пользовать ее при вычислениях СФ и внешних масштабов турбулентности. Напомним, что в наших вычислениях для выделения турбулентных составляющих используется формула  $X' = X - \tilde{X}$ , основанная на вычитании скользящего среднего  $\tilde{X}$ , получаемого с применением «временного окна»  $\delta t$ . Для иллюстрации влияния методики выделения турбулентных составляющих приведем рис. 3, на котором показана суточная развертка масштабов  $L_{T}$ , рассчитанных по формуле (7) с применением оценок текущих значений показателя степени к, масштабов  $L_{TC}$ , рассчитанных по формуле (4) с  $\gamma = 1,5$ , и масштабов  $L_{\mathit{TCP}}$  опять-таки рассчитанных по формуле (4) при  $\gamma = 1,5$ , но с выделением турбулентной составляющей температуры с использованием выборочного среднего X. Вычисления проведены при  $\Delta t = 10$  мин и  $\delta t = 2$  мин.

### Результаты исследования и их обсуждение

Согласно результатам, приведенным на рис. 3, оценки  $L_{\mathit{TCI}}$  практически всегда существенно превосходят как  $L_{\mathit{T}}$ , так и  $L_{\mathit{TC}}$ . Поэтому мы полагаем, что достоверность оценок внешних масштабов турбулентности при выделении пульсационных составляющих с использованием выборочных средних не может быть обеспечена. Без иллюстраций укажем, что подобные результаты имеют место и для внешних масштабов турбулентности компонентов вектора ветра.



Puc. 3. Внешние масштабы температурной турбулентности, оцененные разными методиками по результатам измерений на высоте 10 м



 $Puc.\ 4.\$ Эмпирические гистограммы распределения внешних масштабов турбулентности температуры  $L_p$  вертикальной  $L_p$ , продольной  $L_U$  и поперечной  $L_V$  составляющих вектора ветра

Отметим также наличие «пропусков» в развертке значений  $L_T$ . Они связаны с тем, что на отдельных интервалах времени средний квадрат разности исследуемой величины не мог быть аппроксимирован функцией вида (5) с заданной при вычислениях точностью. Требования, устанавливавшиеся при аппроксимации, были достаточно жесткими [11, 13]. При некотором ослаблении этих требований количество «пропусков» должно уменьшиться.

Пример на рис. 3 приводит к выводу, что значительные отклонения  $L_{TC}$  и  $L_{TCI}$  от  $L_{T}$  – это не отдельные случайные эпизоды, а нечто более системное. Подтвердить данный вывод может сравнение статистик  $L_{\chi}$ ,  $L_{\chi C}$  и  $L_{\chi CP}$  полученных по достаточно большому объему экспериментальных данных. На рис. 4 показаны эмпирические гистограм-

мы распределения внешних масштабов всех рассматривавшихся метеорологических параметров  $P_\chi$  в процентном выражении, рассчитанные с шагом 0,5 м.

Использованы результаты измерений на высоте  $10~\mathrm{M}$  за июнь — июль  $2017~\mathrm{f.}$  в пункте наблюдения «БЭК», о котором уже говорилось ранее. Суммарная длительность наблюдений за два указанных месяца составила  $851~\mathrm{yac}$ , что вполне достаточно для статистической обеспеченности гистограмм ( $5~105~\mathrm{uhtepba}$ ). На рисунках с гистограммами указаны также средние (mean) и медианные (median) значения внешних масштабов турбулентности  $L_{x}$ ,  $L_{xC}$  и  $L_{xCI}$  за обработанный период времени. Очевидно, что статистика масштабов  $L_{xC}$  и  $L_{xCI}$  заметно отличается от статистики  $L_{x}$ , особенно для продольной

и поперечной составляющих вектора ветра. Обратим внимание и на то, что статистика масштабов  $L_{\chi}$  стремится к логарифмически нормальному закону распределения.

#### Заключение

Подводя итог, можно сделать вывод, что для достоверной оценки внешних масштабов турбулентности какой-либо метеорологической величины необходимо по заданному для обработки интервалу времени выделить ее турбулентную составляющую с использованием вычитания из исходной выборки скользящего среднего. После этого следует рассчитать средний квадрат разности исследуемой величины при разных пространственных (временных) сдвигах и аппроксимировать полученную зависимость функцией вида (5) от минимального до максимально возможного сдвига (с заданной точностью). И только после этого приступать к оценкам внешних масштабов турбулентности. В упрощенном виде это обеспечивается формулой (7). Обсуждавшаяся в данной статье методика определения внешних масштабов турбулентности не является «универсальной». Существуют и другие способы определения  $L_{y}$  например, через спектры величин X или их корреляционные функции. Сопоставление результатов оценок  $L_{\scriptscriptstyle X}$  разными методиками также вызывает определенный интерес и представляет перспективную задачу.

### Список литературы

- 1. Белоцерковский О.М. Турбулентность: новые подходы / О.М. Белоцерковский, А.М. Опарин, В.М. Чечёткин. М.: Наука, 2003. 286 с.
- 2. Атмосферная когерентная турбулентность / В.В. Носов [и др.] // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. № 09. С. 753—759.
- 3. Причины проявления неколмогоровской турбулентности в атмосфере / В.П. Лукин [и др.] // Успехи современного естествознания. 2014. № 12–4. С. 369–377.
- 4. О влиянии масштабов атмосферной турбулентности / В.П. Лукин [и др.] // Успехи современного естествознания. -2015. -№ 1-7. -C. 1179-1183.
- 5. Guesalaga A., Neichel B., Correia C.M., Butterley T., Osborn J., Masciadri E., Fusco T., Sauvage J.-F. On-line estimation of the wavefront outer-scale profile from adaptive optics telemetry // Monthly notices of the Royal astronomical Society, 2016, vol. 465. no. 2, pp. 1984–1994.
- 6. Dewan E.M., Grossbard N. The inertial range «outer scale» and optical turbulence // Environ. Fluid Mech, 2007. vol. 7. pp. 383-396.
- 7. Влияние подстилающего рельефа на дрожание астрономических изображений / В.В. Носов, В.П. Лукин, Е.В. Носов // Оптика атмосферы и океана. 2004. Т. 17. № 04. С. 361—368.
- 8. Особенности дрожания изображения оптического источника в случайной среде с конечным внешним масштабом / Л.А. Больбасова [и др.] // Оптика атмосферы и океана. -2012. Т. 25. № 10. С. 845–851.
- 9. Ziad A. Review of the outer scale of the atmospheric turbulence // Proc. SPIE, 2016, vol. 9909, pp. 99091K-1-12.
- 10. Татарский В.И. Распространение волн в турбулентной атмосфере / В.И. Татарский. М.: Наука, 1967. 548 с.

- 11. Структурные функции температуры воздуха над неоднородной подстилающей поверхностью. Часть І. Типичные формы структурных функций / В.А. Гладких [и др.] // Оптика атмосферы и океана. -2013. -T. 26. -№ 11. -C. 948–954.
- 12. Структурные функции температуры воздуха над неоднородной подстилающей поверхностью. Часть II. Статистика параметров структурных функций / В.А. Гладких [и др.] // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 11. С. 955–963.
- 13. Структурные функции компонент вектора ветра над неоднородной подстилающей поверхностью / В.А. Гладких [и др.] // Оптика атмосферы и океана. -2014. Т. 27. № 10. С. 882-890.
- 14. Гладких В.А. Цифровая ультразвуковая метеостанция / В.А. Гладких, А.Э. Макиенко // Приборы. 2009.  $N_2$  7. С. 21—25.

#### References

- 1. Belotserkovskii O.M., Oparin A.M., Chechetkin V.M. Turbulentnost': novye podkhody. [Science]. Moscow, Nauka, 2003 288
- 2. Nosov V.V., Kovadlo P.G., Lukin V.P., Torgaev A.V. Atmospheric coherent turbulence [Atmosfernaia kogerentnaia turbulentnost']. Optika atmosfery i okeana Atmospheric and Oceanic Optics, 2012, no. 09, pp. 753–759.
- 3. Lukin V.P., Nosov V.V., Nosov E.V., Torgaev A.V. The reasons of nonkolmogorov's turbulence in atmosphere [Prichiny proiavleniia nekolmogorovskoi turbulentnosti v atmosfere]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia Advances in current natural sciences, 2014, vol. 4, no. 12, pp. 369–377.
- 4. Lukin V.P., Nosov V.V., Nosov E.V., Torgaev A.V. Influence of atmospheric turbulence scale [O vliianii masshtabov atmosfernoi turbulentnosti]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia Advances in current natural sciences, 2015, vol. 7, no. 1, pp. 1179–1183.
- 5. Guesalaga A., Neichel B., Correia C.M., Butterley T., Osborn J., Masciadri E., Fusco T., Sauvage J.-F On-line estimation of the wavefront outer-scale profile from adaptive optics telemetry. Monthly notices of the Royal astronomical Society, 2016, no. 2, pp. 1984–1994.
- 6. Dewan E.M., Grossbard N. The inertial range outer scale and optical turbulence. Environ. Fluid Mech, 2007, no. 7, pp. 383–396.
- 7. Nosov V.V., Lukin V.P., Lukin V.P., Nosov E.V. Effect of the underlying terrain on jitter of astronomic images [Vliianie podstilaiushchego rel'efa na drozhanie astronomicheskikh izobrazhenii]. Optika atmosfery i okeana Atmospheric and Oceanic Optics, 2004, no. 4, pp. 361–368.
- 8. Bol'basova L.A., Kovadlo P.G., Lukin V.P., Nosov V.V., Torgaev A.V. Pecularities of flutter of the optical source images in casual ambience with final outer scale [Osobennosti drozhaniia zobrazheniia opticheskogo istochnika v sluchainoi srede s konechnym vneshnim masshtabom]. Optika atmosfery i okeana Atmospheric and Oceanic Optics, 2012, no. 10, pp. 845–851.
- 9. Ziad A. Review of the outer scale of the atmospheric turbulence. Proc. SPIE, 2016, no. 9909, pp. 99091K-1-12.
- 10. Tatarskii V.I. Rasprostranenie voln v turbulentnoi atmosfere [Propagation in a Turbulent Atmo\_ sphere]. Moscow, Nauka, 1967, 548.
- 11. Gladkikh V.A., Nevzorova I.V., Odintsov S.L., Fedorov V.A. Structure functions of air temperature over an inhomogeneous underlying surface. Part I. Typ\_ical forms of structure functions [Strukturnye funktsii temperatury vozdukha nad neodnorodnoi podstilaiushchei poverkhnost'iu. Chast' I. Tipichnye formy strukturnykh funktsii]. Optika atmosfery i okeana Atmospheric and Oceanic Optics, 2013, no. 11, pp. 948–954.
- 12. Gladkikh V.A., Nevzorova I.V., Odintsov S.L., Fedorov V.A. Structure functions of air temperature over an inhomogeneous underlying surface. Part II. Statistics of structure functions [Strukturnye funktsii temperatury vozdukha nad neodnorodnoi podstilaiushchei poverkhnost'iu. Chast' II. Statistika parametrov strukturnykh funktsii]. Optika atmosfery i okeana Atmospheric and Oceanic Optics, 2013, no. 11, pp. 955–963.
- 13. Gladkikh V.A., Nevzorova I.V., Odintsov S.L., Fedorov V.A. Structure functions of wind velocity [Strukturnye funktsii komponent vektora vetra nad neodnorodnoi podstilaiushchei poverkhnost'iu]. Optika atmosfery i okeana Atmospheric and Oceanic Optics, 2014, no. 10, pp. 882–890.
- 14. Gladkikh V.A., Makienko A.E. Digital ultrasonic weather station [Tsifrovaia ul'trazvukovaia meteostantsiia]. Pribory Pribory, 2009, no. 7, pp. 21–25.

УДК 551.34:622.34:622.413.6

### ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ОТБИТОЙ РУДЫ НА ПОТЕРИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ ЕЕ НАХОЖДЕНИЯ В БЛОКЕ ДО ВЫПУСКА ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ

Зубков В.П., Петров Д.Н., Необутов Г.П.

ФГБУН «Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского» Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, e-mail: zubkov@igds.ysn.ru

Подземная разработка месторождений полезных ископаемых в условиях Якутии требует высоких затрат, что значительно снижает рентабельность освоения месторождений полезных ископаемых. Одним из путей решения является применение технологий разработки, не требующих высоких затрат на доставку отбитой руды и управление горным давлением, к которым относятся системы с обрушением руды и вмещающих пород. Однако их применение в условиях Якутии требует учета различных факторов, усложняющих подземную разработку месторождений, таких как смерзание отбитой руды в очистном пространстве. Для оценки влияния термовлажностных условий на показатели полноты извлечения запасов были проведены исследования зависимости объема потерь отбитой руды, склонной к смерзанию, от продолжительности нахождения в неподвижном состоянии в очистном пространстве при различной степени ее увлажнения. Экспериментальные исследования проводились методом физического моделирования в криокамере на лабораторном стенде. Выпуск руды производился в равномерно-последовательном режиме при температуре очистного пространства минус 5°C. Конечный определяемый параметр – потери руды, склонной к смерзанию, определялся как разница между весом руды в блоке и весом выпущенной руды. Установлено, что потери отбитой руды в блоке вследствие ее смерзания значительно возрастают при изменении весовой влажности отбитой горной массы от 0,5 до 1,0% и времени нахождения ее в неподвижном состоянии более 1 суток. При всех значениях продолжительности смерзания рудной смеси ее потери начинают возрастать в интервале влажностей 0,2-0,6%, который можно считать оптимальным условием для благоприятного выпуска руды. Полученные качественные зависимости влияния изменения весовой влажности на потери рудной массы будут использованы при разработке рекомендаций по технологии выпуска руды, склонной к смерзанию в условиях отрицательного теплового режима подземных рудников криолитозоны.

Ключевые слова: подземная разработка, рудные месторождения, криолитозона, обрушение руды и пород, выпуск, смерзание, потери

## THE INFLUENCE OF MOIST FREED ORE ON LOSSES COMPARED TO ITS TIME IN THE BLOCK BEFORE DISCHARGE DURING MINING DEPOSITS OF CRYOLITHOZONE

Zubkov V.P., Petrov D.N., Neobutov G.P.

Cherskiy Institute of Mining of the North of the Russian Academy of Science Siberian Branch Federal State Budget Research Institution, Yakutsk, e-mail: zubkov@igds.ysn.ru

The underground mining of mineral deposits in Yakutia requires high costs, which significantly reduces the profitability of the mineral deposits exploitation. One of the solutions is the use of extraction technologies that do not require high costs for the delivery of the muck and roof control, which include mining methods with caving. However, their application in the conditions of Yakutia requires consideration of various factors conflicting with underground mining, such as the freezing of muck in the open-face. We conducted a research to assess the influence of thermal and moisture conditions on the indicators of the complete reserves extraction and studied the dependence of the volume of muck loss, which is prone to freezing, the duration of immobility in the open-face at different degrees of its moisture. We held experimental analyses using physical modeling method in a cryogenic freezer on a laboratory bench. The discharge produced in a uniformly-sequential mode at a open-face temperature minus 5°C. The final determinable parameter - loss of ore prone to freezing, was defined as the difference between the weight of ore in the block and the weight of the discharged ore. We revealed that losses of freed ore in the block due to its freezing significantly increase in case of the weight moisture changes of the muck from 0.5 to 1.0% and its time in the stationary for more than 1 day. For all values of the duration of the freezing of the ore mixture, its losses begin to increase in the moisture range of 0.2-0.6%, which can be considered the optimal condition for favorable ore discharge. The obtained qualitative dependences of the influence of weight moisture changes on the losses of freed ore will be used in developing recommendations on the technology of discharge, which is prone to freezing in conditions of negative thermal conditions of underground cryolithozone mines.

Keywords: underground mining, ore deposits, cryolithozone, caving, discharge, freezing, losses

Затраты на подземную разработку рудных месторождений Якутии в несколько раз превышают аналогичные в более благоприятных условиях, например в центральных регионах России. При этом зачастую применяемые варианты технологий подземной

разработки не позволяют обеспечить высокие показатели извлечения. Так, например, при разработке крутопадающих рудных тел в основном используются различные модификации системы разработки с магазинированием руды, при этом показатели потерь

достигают 16%, разубоживания — 45%, при отработке пологих и наклонных — камерностолбовая и сплошная системы разработки (потери и разубоживание достигают соответственно 28–31% и 32–35%) [1]. Подобные показатели извлечения, в сочетании с высокими затратами на разработку, значительно снижают рентабельность освоения месторождений полезных ископаемых.

В похожих географических и климатических условиях Аляски, Канады и Норвегии эффективность подземной разработки рудных месторождений обеспечивается применением различных вариантов систем разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства [2]. Однако использование данных систем в условиях Якутии затруднительно, а зачастую невозможно в связи с практическим отсутствием регулярного транспортного снабжения и инфраструктуры и соответственно, дороговизны рабочей силы, энергии и материалов.

Одним из путей решения является применение систем разработки, не требующих высоких затрат на доставку отбитой руды и управление горным давлением, к которым относятся системы с обрушением руды и вмещающих пород. Как известно, системы этих классов широко применяются в нашей стране и за рубежом и позволяют снизить потери руды в целиках и расходы, связанных с поддержанием очистного пространства, при относительно небольшом объеме горно-подготовительных работ [3, 4]. Еще одним преимуществом данного класса систем является возможность без существенного роста затрат оперативно реагировать на изменения условий разработки месторождения и возможность комбинированного применения с системами других классов.

В республике Саха (Якутия) расположен ряд рудных месторождений, горногеологические условия залегания которых позволяют применить различные варианты систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород. Наиболее перспективными в плане применения данной технологии являются золоторудное Нежданинское, золотосурьмяные Сарылах и Сентачан, а также серебро-свинцовоцинковое Верхнее Менкече.

Цель исследования: применение систем с обрушением руды и вмещающих пород в условиях Якутии требует учета различных факторов, усложняющих подземную разработку месторождений. Так, например, исследования, выполненные при ведении

опытно-промышленных испытаний системы подэтажного обрушения на Нежданинском месторождении в Якутии, показали, что при низкой интенсивности выпуска отбитой руды наблюдается её смерзание [5].

Смерзание отбитой руды в очистном пространстве обусловлено наличием многолетней мерзлоты. Причинами смерзания рудной массы могут быть как попадание в нее воды с поверхности или водоносных горизонтов, так и контакт с теплым воздухом. В условиях подземной разработки рудных месторождений криолитозоны смерзание рудной массы в очистном пространстве приводит к потере сыпучести и, как следствие, росту потерь отбитой руды и аварийной остановке ее выпуска.

Для оценки влияния термовлажностных условий подземной разработки рудных месторождений криолитозоны на показатели полноты извлечения запасов были проведены исследования зависимости объема потерь отбитой руды, склонной к смерзанию, от продолжительности нахождения в неподвижном состоянии в очистном пространстве при различной степени ее увлажнения.

### Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования проводились методом физического моделирования в криокамере на лабораторном стенде. В соответствии с задачами исследований была разработана методика физического моделирования выпуска руды, основанная на известных положениях теории подобия и методик моделирования и учитывающая результаты, полученные другими исследователями [3].

Главным требованием при проведении исследований выпуска методом физического моделирования являлось соблюдение подобия конструктивных элементов, гранулометрического состава, равенство углов внутреннего трения материала и температурных условий в модели и натурных условиях.

При разработке методики учитывались горно-геологические и термовлажностные условия, физико-механические характеристики руд и пород, а также конструктивные параметры технологии подземной разработки Нежданинского золоторудного месторождения в Республике Саха (Якутия). Выпуск руды предусматривался в равномерно-последовательном режиме, как наиболее оптимальном для данных условий разработки.

Линейные размеры (геометрическое подобие) модели обычно определяются кон-

структивными соображениями. Оптимальный геометрический масштаб подобия  ${\bf C}_{\rm L}$  был определен из выражения:

$$C_1 = L_H/L_M = 100,$$

где  $L_{_{\rm H}}$  и  $L_{_{_{\rm M}}}$  – линейные размеры в натурных условиях и в модели соответственно.

Кинематическое подобие процесса выпуска руды обеспечивалось масштабом моделирования времени

$$C_{t} = \sqrt{C_{1}}$$

где  $C_1$  – линейный масштаб модели.

Соблюдение температурных условий процесса выпуска руды обеспечивалось проведением экспериментов в криокамере объемом 30,0 м³, оснащенной среднетемпературной сплит-системой «Polaris» при постоянной температуре минус 5°С, что соответствует средней температуре рудничного воздуха и массива горных пород в натурных условиях.

В качестве материала использовалась дробленая кварцевая руда Нежданинского месторождения грансоставом от 1 до 5 мм. Для обеспечения соблюдения геометрического подобия движения из материала были исключены частицы диаметром менее 1 мм. Использование в лабораторных исследованиях натурного материала позволило принять углы внутреннего трения и термодинамические характеристики материала модели и натуры постоянными и равными.

В соответствии с принятой методикой был изготовлен стенд для физического моделирования площадно-фронтального выпуска руды, имитирующий добычной блок крутопадающего рудного тела мощностью 9 м, высотой 50 м и шириной 50 м.

Стенд представляет собой конструкцию в виде призмы, состоящую из двух боковых, двух торцевых стенок и основания. Для обеспечения возможности визуального наблюдения боковые и фронтальная стенки выполнены из прозрачного пластика, задняя стенка из многослойной фанеры, основание - из листа ДСП. Стенки стенда и выпускной выработки скреплены между собой неподвижно металлическими уголками и закреплены на основании стенда. Фронтальная стенка стенда имеет 6 отверстий, размерами 30×30 мм, выполняющих функции ортов-заездов для выпуска руды. Расстояние между выпускными выработками составляет 50 мм, горизонт выпуска оформлен в виде траншеи с углом наклона борта 60 град. Принципиальная схема и размеры стенда приведены на рис. 1.

Проведение экспериментов для каждой серии проводилось в следующем порядке. Методом рассева на геологических ситах отбирался необходимый объем рудного материала, определялся его вес, затем руда в пластиковой емкости и стенд размещались в криокамере и охлаждались. После набора дробленой руды необходимой отрицательной температуры минус 5 °С производилось ее размещение в стенде. Заполненный стенд выдерживался в криокамере.

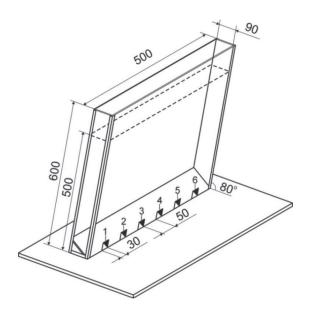


Рис. 1. Лабораторный стенд для моделирования площадно-фронтального выпуска рудной смеси в равномерно-последовательном режиме (размеры приведены в миллиметрах)

По истечении требуемого промежутка времени выполнялись замеры температуры рудного материала и производился площадно-фронтальный выпуск руды в равномернопоследовательном режиме с фиксированием времени начала и конца выпуска. Выпуск осуществлялся до прекращения поступления руды из выпускных выработок. Производилось взвешивание выпущенной рудной массы и определялись потери руды при выпуске.

Затем, в аналогичном порядке, проводились эксперименты по выпуску руды с различной весовой влажностью. Необходимый объем рудного материала охлаждался в криокамере до отрицательной температуры минус 5°С, затем производилось его увлажнение. Изменение весовой влажности рудного материала достигалось орошением водой в требуемом количестве с одновременным тщательным перемешиванием в криокамере. После этого материал размещался в стенде. Заполненный стенд выдерживал-

ся в криокамере в неподвижном состоянии расчетный промежуток времени, затем выполнялся замер температуры и выпуск рудной массы. Выпуск руды производился до прекращения поступления руды из выпускных выработок вследствие смерзания.

Все результаты, полученные в ходе экспериментов, фиксировались в журнале наблюдений. Конечный определяемый параметр — потери руды, склонной к смерзанию, определялся как разница между весом руды в блоке и весом выпущенной руды.

# Результаты исследования и их обсуждение

Основные полученные результаты представлены в виде графиков, позволяющих представить качественные характеристики изменения показателей потерь руды, вследствие ее смерзания, от времени нахождения в неподвижном состоянии и влажности отбитой рудной массы (рис. 2).

Экспериментальные исследования показали, что изменение весовой влажности при продолжительности смерзания от 6 ч до одних суток приблизительно одинаково. Очевидно, что при больших значениях весовой влажности и при меньшей продолжительности промораживания рудная смесь не успевает смерзнуться.

Исследованиями площадно-фронтального выпуска руды в равномерно-последовательном режиме также установлено, что вследствие ее смерзания значительное увеличение потерь в блоке (с 5 до 99,0%, при температуре очистного пространства –5°С) происходит при изменении весовой влажности отбитой горной массы от 0,5 до 1,0% (рис. 2, кривая I). В интервале от 0 до 0,5% влажность не оказывает существенного влияния на показатели полноты извлечения запасов руды в блоке.

Резкое увеличение потерь (от 5 до 92%), при изменении влажности от 0,5 до 0,7% позволяет сделать вывод, что указанный интервал влажностей является наиболее опасным в отношении смерзания пород при данных условиях промораживания.

Проведенный эксперимент показал, что чем больше время пребывания руды в блоке в неподвижном состоянии, тем выше потери руды от ее смерзания. При весовой влажности 0.8%, температуре рудничного воздуха -5.0°C и продолжительности смерзания от 6 ч до одних суток потери руды достигают  $\sim 10\%$ , а при продолжительности смерзания от 2 до 8 сут -99%.

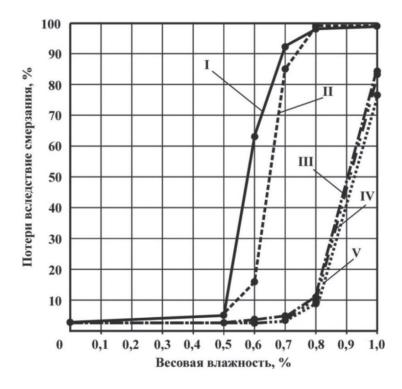


Рис. 2. Влияние изменения весовой влажности на потери разрыхленной рудной массы при температуре -5 °C в зависимости от продолжительности ее пребывания в очистной камере до выпуска (смерзания): I-8 сут; II-2 сут; II-1 сут; IV-12 ч; V-6 ч

При всех значениях продолжительности эксперимента потери начинают возрастать в интервале влажностей 0,2–0,6% (рис. 2), который можно считать оптимальным условием для благоприятного выпуска руды.

При смерзании с 6 ч до одних суток как изменение потерь, так и зависимость от весовой влажности приблизительно одинаковы (рис. 2, кривые III, IV, V), следовательно при соблюдении указанных условий можно говорить об оптимальной продолжительности пребывания рудной смеси в очистной камере до выпуска (смерзания) при температуре рудничного воздуха –5,0°С не более 1 суток.

Необходимо отметить, что при продолжительности смерзания 1 сутки и более и влажности более 0,5% в течение выпуска наблюдались кратковременные зависания руды, в реальных условиях горного производства представляющие серьезную угрозу безопасности горнорабочих.

### Заключение

Таким образом, установлено, что потери отбитой руды в блоке вследствие ее смерзания значительно возрастают при изменении весовой влажности отбитой горной массы от 0,5 до 1,0% и времени нахождения ее в неподвижном состоянии более 1 суток. Следовательно, на данном этапе исследований установлена возможность решения проблемы смерзания отбитой руды в очистном пространстве, например путем сокращения времени ее нахождения в неподвижном состоянии.

Полученные результаты показывают необходимость разработки профилактических и оперативных мероприятий уже на стадии проектирования подземной разработки рудных месторождений системами с обрушением руды и пород в условиях криолитозоны. Установленные зависимости влияния изменения весовой влажности на потери

рудной массы будут использованы при разработке рекомендаций по технологии выпуска руды, склонной к смерзанию в условиях отрицательного теплового режима подземных рудников криолитозоны.

### Список литературы

- 1. Зубков В.П. Повышение полноты и качества извлечения запасов при подземной разработке золоторудных месторождений Республики Саха (Якутия) / В.П. Зубков, Г.П. Необутов, Д.Н. Петров // Горный журнал 2017. № 4. С. 53—56. DOI: 10.17580/gzh.2017.04.10.
- 2. Scales M. One of a kind. Lac des iles palladium mine expands. Canadian Mining Journal, 2012, February/March, pp. 22–24.
- 3. Савич И.Н. Перспективы применения и обоснование проектных решений при этажном и подэтажном торцевом выпуске руды / И.Н. Савич, В.И. Мустафин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. Отд. вып.1. С. 419—429.
- 4. Ridgeway Gold and Copper Mine, New South Wales [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.mining-technology.com/projects/cadiavalley (дата обращения: 05.02.2018).
- 5. Бахмутов В.М. Технологический регламент для разработки технического проекта Нежданинского ГОКа в Якутской АССР по технологии подземных горных работ / В.М. Бахмутов [и др.] // ВНИПИГорцветмет, Чита, 1986.-125 с.

#### References

- 1. Zubkov V.P., Neobutov G.P., Petrov D.N. Enhancing completeness and quality of underground gold ore extraction in the Republic of Sakha (Yakutia) [Povyshenie polnoty i kachestva izvlecheniia zapasov pri podzemnoi razrabotke zolotorudnykh mestorozhdenii Respubliki Sakha (Iakutiia)]. Gornyi zhurnal Mining journal, 2017, no. 4, pp. 53–57. DOI: 10.17580/gzh.2017.04.10.
- 2. Scales M. One of a kind. Lac des iles palladium mine expands. Canadian Mining Journal, 2012, no. 2, pp. 22–24.
- 3. Savich I.N., Mustafin V.I. Perspective of use and rationale design solutions of block (level) and sublevel face draw [Perspektivy primeneniia i obosnovanie proektnykh reshenii pri etazhnom i podetazhnom tortsevom vypuske rudy]. Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' Mining informational and analytical bulletin, 2015, no. 1, pp. 419–429.
- 4. McPaul T. Ridgeway Gold and Copper Mine, New South Wales. Available at: https://www.mining-technology.com/projects/cadiavalley (accessed 05.02.2018).
- 5. Bakhmutov V.M. Tekhnologicheskii reglament dlia razrabotki tekhnicheskogo proekta Nezhdaninskogo GOKa v Iakutskoi ASSR po tekhnologii podzemnykh gornykh rabot, Chita, VNIPIGortsvetmet, 1986, 125.

УДК 550.8.053

# МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ И ЗОНАЛЬНОСТЬ МНОГОМЕТАЛЛЬНО-СЕРЕБРЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ НИЖНЕ-ТАЕЖНОГО РУДНОГО УЗЛА (СЕВЕРНОЕ ПРИМОРЬЕ)

### Ивин В.В., Медведев Е.И., Фатьянов И.И.

ФАНО ФГБУН «Дальневосточный геологический институт» ДВО РАН, Владивосток, e-mail: Cage21@mail.ru

В данной работе впервые для Нижне-Таежного рудного узла (НТРУ) (Приморский край) авторами представлены результаты минералогического и геохимического изучения перспективных участков на серебряное оруденение, на территории которых выявлено более 30 рудных зон с многометалльно-серебряной минерализацией. Минералогически состав зон довольно разнообразен и представлен: Сульфидами (пиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом, аргентитом, акантитом), сульфосолями (стефанитом, фрейбергитом, пираргиритом, полибазитом, штромейеритом) и самородными металлами (золотом и серебром). Металлогеническую специфику узла определяют шесть основных элементов - Ag, Au, Cu, Zn, Pb, Sn, их распределение в рудных зонах позволило установить три главных геохимических типа рудной минерализации: олово-медно-серебряный, полиметалльно-серебряный и золото-серебряный. На участке Кумирном в вертикальном интервале от 200 до 700 м вскрыты практически все геохимические типы рудной минерализации узла. Участок Кабаний характеризуется развитием полиметалльно-серебряной и золото-серебряной минерализации. На участке Сухой проявлено олово-медно-серебряное, полиметалльно-серебряное и золото-серебряное оруденение. На участке Левобережном преобладающим типом оруденения является полиметалльно-серебряный и олово-медно-серебряный. Положение участков рудного узла на различных гипсометрических уровнях позволило выявить вертикальную зональность в распределении геохимических типов руд. На нижних уровнях рудоносной колонны проявлена олово-медно-серебряная минерализация, выше размещается полиметалльно-серебряная и завершает вертикальную зональность золото-серебряная. В размещении оруденения установлена также латеральная зональность, являющаяся отражением вертикальной, обусловленная блоковым строением территории и различным уровнем эрозионного среза участков

Ключевые слова: медь, серебро, полиметаллы, олово, руда, минерализация, уровень

## MINERAL -GEOCHEMICAL TYPESIZATION AND ZONALITY OF MULTIMETAL SILVER MINERALIZATION OF THE LOWER-TAIGA ORE CLUSTER (NORTHERN PRIMORYE)

### Ivin V.V., Medvedev E.I., Fatyanov I.I.

Far East Geological Institute Far East Geological Institute Far East Branch Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: Cage21@mail.ru

In this paper, for the first time for the Lower-Taiga ore cluster (LTOC) (Primorsky Krai), the authors present the results of mineralogical and geochemical study of promising areas for silver mineralization. On the territory, which revealed more than 30 ore zones with multimetal silver mineralization. Mineralogically, the composition of the zones is quite diverse and is represented by: Sulfides (pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite, argentite, acanthite), sulfosalts (stephanite, freibergite, pyargyrite, polybasite, tromeyerite) and native metals (gold and silver). The six basic elements – Ag, Au, Cu, Zn, Pb, Sn – are determined by the metallogenic specificity of the unit; their distribution in ore zones allowed the establishment of three main geochemical types of mineralization ore: tincopper-silver, polymetallic-silver and gold-silver. Almost all geochemical types of ore mineralization of the site have been discovered in the area of Kumirnoe in the vertical interval from 200 to 700 m. The Kabaniya site is characterized by the development of polymetallic silver and gold-silver mineralization. In the section Dry is shown tin-copper-silver, polymetallic-silver and gold-silver mineralization. On the Levoberezhny site, the predominant type of mineralization is polymetallic silver and tin-copper-silver. The position of the sections of the ore site at various hypsometric levels made it possible to reveal vertical zoning in the distribution of geochemical types of ores. At the lower levels of the ore-bearing column, tin-copper-silver mineralization is manifested, the polymetallicsilver mineralization is higher and the gold-silver zoning is completed. The lateral zoning is also established in the mineralization location, which is a reflection of the vertical zone, due to the block structure of the territory and different levels of erosion cut of the plots.

Keywords: copper, silver, polymetals, tin, ore, mineralization, level

Территория Приморского края РФ относится к одной из наиболее перспективных площадей для отработки собственно серебряных и полиметалльно-серебряных месторождений и рудопроявлений. Так, на его территории известно более 15 перспективных участков на серебро. В данной работе мы остановимся на одном из наименее из-

ученных и описанных в литературе Нижне-Таежном рудном узле. Рассмотрим детально его геохимическую, минералогическую характеристику и распределение в пределах узла. Нижне-Таежный рудный узел (НТРУ) расположен в прибрежной зоне Восточно-Сихотэ-Алиньского вулкано-плутонического комплекса (рис. 1). Площадь сложена различными по составу, возрасту, эффузивными, пирокластическими, субвулканическими и инрузивными породами верхнего структурного этажа (верхний мел — палеоген). Отложения нижнего этажа известны севернее и представлены нижнемеловыми терригенными образованиями [1, 2].

В пределах узла выделены следующие рудоносные участки – Кумирный, Кабаний, Сухой и Левобережный, в которых установлено более 30 рудных зон преимущественно субмеридиональной, реже субширотной ориентировки с многометалльно-серебряной минерализацией. Мощность этих зон от 0,5 до 20 м, протяженность от 250 м до 1500 м. Рудные зоны сложены кварцевыми жилами с сульфидной, сульфосольной и благороднометалльной минерализацией. Сульфиды представлены пиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом, аргентитом, акантитом, сульфосоли – стефанитом, фрейбергитом, пираргиритом, полибазитом, штромейеритом, благородные металлы – золотом и серебром [3–5].

### Материалы и методы исследования

На основании минералого-геохимических исследований многометалльных рудных зон авторами установлено шесть главных элементов указывающих на металлогеническую особенность узла – Pb, Zn, Au, Cu, Ag, Sn. Нами рассчитаны средние содержания этих элементов в рудных зонах перспективных участков – Кумирного, Кабаньего, Сухого и Левобережного. Полученные результаты применялись при создании круговых диаграмм, в которых учитывалось процентное соотношение рудных элементов. Интерпретация этих диаграмм указывает, что в пределах узла наблюдаются три основных геохимических типа минерализации: олово-медносеребряный, полиметалльно-серебряный и золото-серебряный [6, 7]. Рассмотрим распределение геохимических типов руд на каждом из выделенных перспективных

Кумирный участок. На площади участка выявлено 19 рудных зон преимущественно северо-западного, иногда субширотного направления протяженностью от 250 до 1500 м, мощностью от 0,5 до 20 м. Рудные зоны представлены сложными ветвящимися крутопадающими кварц-сульфидными (с серицитом и гидрослюдой) жилами участками, переходящими в зоны замещения, сравнительно простого строения и близсинхронным отложением различных сульфи-

дов, сульфосолей, оксидов и благородных металлов [6, 2]. Интерпретация диаграмм распределения рудопрофилирующих элементов указывает, что на участке проявлено три геохимических типа руд: олово-медносеребряный, полиметалльно-серебряный и золото-серебряный.

Участок Кабаний. Большинство продуктивных рудных зон залегают среди пород приморской толщи. Рудные зоны представлены грейзенами, кварцевыми и кварц-лимонитовыми жилами и прожилковыми зонами, которые пространственно ассоциируют с Малиновским массивом. Среди них количественно преобладают грейзены, образующие многочисленные и часто сближенные зоны северо-западного и субширотного направлений. Рудная минерализация бедная. Кроме преобладающих пирита и арсенопирита в незначительных количествах отмечаются галенит, сфалерит, халькопирит, акантит и пираргирит, редко касситерит. Распределение рудопрофилирующих элементов на диаграммах позволило выделить два основных геохимических типа руд - полиметалльно-серебряный и золото-серебряный.

Участок Сухой. Основная часть продуктивных рудных зон и жил расположена среди вулканитов самаргинской толщи. Преобладают различные по протяженности и мощности зоны прожилкования, брекчирования и метасоматического окварцевания с убогой рудной минерализацией. Рудные минералы – пирит, халькопирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, пираргирит, акантит, фрейбергит и самородное серебро. Анализ распределения рудопрофилирующих элементов на диаграммах указывает, что полиметалльно-серебряный геохимический тип оруденения является основным в рудных зонах участка, в подчиненных количествах в рудах присутствуют золото-серебряный и олово-медно-серебряный типы.

Участок Левобережный. Здесь рудные зоны выявлены среди вулканитов приморской и богопольской толщ. Они представлены субширотными кварцевыми жилами сложного строения мощностью от 1 до 3 м. Рудные минералы — пирит, халькопирит, пирротин, арсенопирит, сфалерит, галенит, кестерит, фрейбергит, акантит, касситерит, самородное серебро. Анализ круговых диаграмм показал, что на участке Левобережном преобладают полиметалльно-серебряный и олово-медно-серебряный типы оруденения.

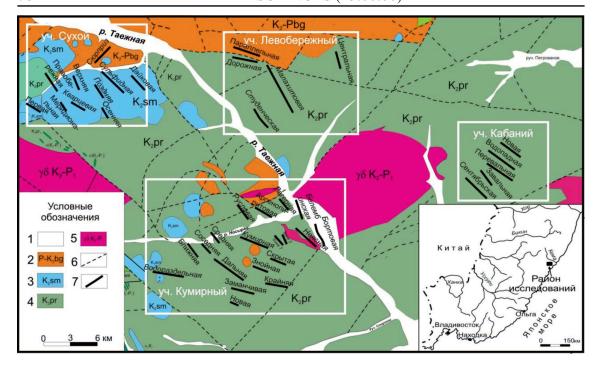


Рис. 1. Карта-схема геологического строения Нижне-Таежного рудного узла (по материалам АО «Дальневосточное ПГО»): 1) аллювиальные отложения, 2) богопольская толща (P- $K_z$ bg), 3) самаргинская толща ( $K_z$ sm), 4) приморская толща ( $K_z$ pr), 5) гранитоидные массивы (у $\delta K_z$ -P1), 6) тектонические нарушения, 7) рудные тела

# Результаты исследования и их обсуждение

Эталонным для изучения зональности многометалльно-серебряного оруденения НТРУ является уч. Кумирный, где в вертикальном интервале от 200 до 700 м наблюдаются по существу все геохимические типы рудной минерализации. На уровне отметок 150–200 м зафиксированы олово-медно-серебряные и полиметалльно-серебряные типы оруденения (зоны Белембинская и Бортовая). Выше по вертикали вскрыты интервалы развития полиметалльно-серебряных руд на уровне 200–250 и 400–500 м, а золото-серебряные руды на уровне 250–350 и 500–700 м.

Таким образом, на участке установлена вертикальная зональность в размещении геохимических типов руд: на отметках 150–200 м — олово-медно-серебряного, 200–250 и 400–500 м — полиметалльно-серебряного, 250–350 и 500–700 м — золото-серебряного. Наличие двух интервалов развития полиметалльно-серебряного и золото-серебряного типов оруденения связано с различным уровнем эрозионного среза отдельных блоков НТРУ (рис. 2). Сходная вертикальная зональность оруденения отмечается и на участке Кабаньем. Здесь также фиксируется развитие

полиметалльно-серебряной минерализации на абсолютных отметках 50 и 250 м, а золото-серебряной — 150 и 350 м. На участке не выявлено олово-медно-серебряного оруденения (рис 3). Возможно, данный тип руд на участке Кабаньем еще не вскрыт эрозией.

Аналогичные признаки вертикальной зональности оруденения отмечены на участке Сухой. Здесь основным геохимическим типом является полиметалльно-серебряный, фиксирующийся во всем вертикальном диапазоне от 200 до 500 м. Слабо проявленные олово-медно-серебряный и золото-серебряный типы оруденения отмечены на уровне 200—220 м. Подобное положение геохимических типов оруденения в вертикальном диапазоне обусловлено блоковым строением участка (рис. 3).

На участке Левобережном руды золотосеребряного типа не обнаружены, вероятнее всего, они здесь денудированы (рис. 3). Преобладающим типом оруденения здесь является полиметалльно-серебряный, расположенный в интервале 320—650 м. Оловомедно-серебряная минерализация проявлена на отметках от 380 до 450 м. Положение геохимических типов минерализации соответствует вертикальной зональности, проявленной на вышеописанных участках НТРУ.

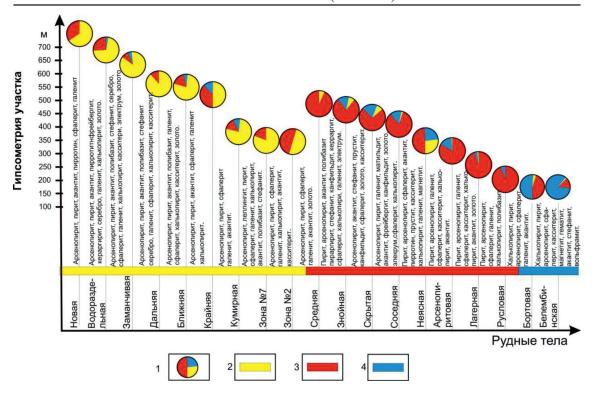


Рис. 2. Схема вертикальной зональности многометалльного оруденения на участке Кумирном: 1—пропорция рудопрофилирующих элементов в рудных зонах; 2—4—геохимические типы руд: 2—золото-серебряный, 3—полиметалльно-серебряный, 4—олово-медно-серебряный

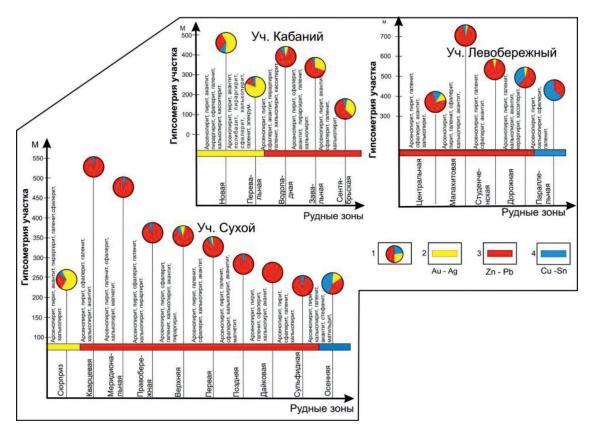


Рис. 3. Схема вертикальной зональности многометалльного оруденения HTPV на участках Кабаньем, Левобережном и Сухом. Условные обозначения см. рис. 2

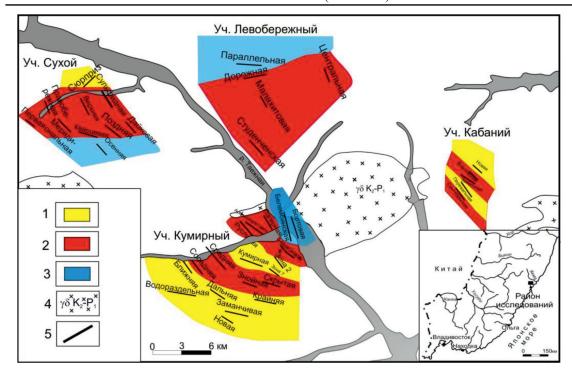


Рис. 4. Карта-схема латеральной зональности минералого-геохимических типов минерализации HTPV. 1–3 – типы руд: 1) золото-серебряный, 2) полиметалльно-серебряный; 3) олово-медно-серебряный; 4) гранитоидные массивы (γδК,-P1); 5) рудные тела

Таким образом, в пределах НТРУ авторами установлена вертикальная зональность распределения геохимических типов оруденения. На нижних уровнях рудоносной колонны проявлена олово-медно-серебряная минерализация, выше размещается полиметалльно-серебряная и завершает вертикальную зональность золото-серебряная. В размещении оруденения установлена также латеральная зональность, являющаяся отражением вертикальной, обусловленная блоковым строением территории и развитием эрозионных процессов (рис. 4).

#### Выводы

- 1. Минералого-геохимическими исследованиями многометалльных рудных зон HTPУ выделено шесть основных элементов (Ag, Au, Cu, Zn, Pb, Sn), определяющих металлогеническую специфику узла.
- 2. Анализ распределения основных элементов позволил выделить три геохимических типа руд: олово-медно-серебряный, полиметалльно-серебряный и золото-серебряный.
- 3. В распределении геохимических типов руд установлена вертикальная зональность. На нижних уровнях рудоносной колонны проявлена олово-медно-серебряная

минерализация, выше — полиметалльно-серебряная и завершает — золото-серебряная.

4. В размещении оруденения установлена латеральная зональность, являющаяся отражением вертикальной. Она обусловлена блоковым строением территории и развитием эрозионных процессов.

#### Список литературы

- 1. Сидоров А.А. Рудные формации и металлогеническая зональность Тихоокеанского пояса / А.А. Сидоров // Тихоокеанская геология. -2002. -T. 21. -№ 3. -C. 3-13.
- 2. Ивин В.В. Минералого-геохимические особенности полиметалльно-золото-серебряного Кумирного месторождения (Северное Приморье) / В.В. Ивин, Е.И. Медведев // Фундаментальные исследования. 2014. № 8-5. С. 1100–1106.
- 3. Степанов В.А. Металлогения золота Приморья / В.А. Степанов // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки.  $2012.- \cancel{N} 29.- C. 112-119.$
- 4. Гричук Д.В. Отношение Cd/Zn как индикатор вклада магматических флюидов в питании гидротермальных систем / Д.В. Гричук // Новые идеи в науках о Земле. М.: Изд-во МГУ, 2005. Т. 2. 83 с.
- 5. Файзиев А.Р. Рудноформационные типы серебряных месторождений Таджикистана / А.Р. Файзиев, Ф.А. Файзиев // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. 2015. № 3 (160). С. 92–99.
- 6. Ивин В.В. Зональность многометалльного оруденения Кумирного месторождения серебра (Северное Приморье) / В.В. Ивин, Е.И. Медведев, И.И. Фатьянов // Успехи современного естествознания. 2017. № 3. С. 85–91.

7. Кравцова Р.Г. Особенности состава самородного серебра золото-серебряного месторождения Роговик (СевероВосток России) / Р.Г. Кравцова, В. Л. Таусон, Г.А. Пальянова, А.С. Макшаков, Л.А. Павлова // Геология рудных месторождений. — 2017. — Т. 59. —  $N\!\!_{\odot}$  5. — С. 385—400. DOI: 10.7868/S0016777017050045.

#### References

- 1. Sidorov A.A. Ore formations and metallogenic zoning of the Pacific Belt [Rudnye formatsii i metallogenicheskaia zonal'nost' Tikhookeanskogo poiasa]. Tikhookeanskaia geologiia. Russian Journal of Pacific Geology, 2002, vol. 21, no. 3, pp. 3–13.
- 2. Ivin V.V., Medvedev E.I. Mineralization zoning mnogometalnogo kumirnoe silver deposit (northern primorye) [Mineralogo-geokhimicheskie osobennosti polimetal'no-zoloto-serebrianogo Kumirnogo mestorozhdeniia (Severnoe Primor'e)]. Fundamental'nye issledovaniia The successes of modern natural science, 2014, vol. 5, no. 8, pp. 1100–1106.
- 3. Stepanov V.A. Metallogeny of gold Primorye [Metallogeniia zolota Primor'ia]. Vestnik Amurskogo gosudarstvennogo universiteta Vestnik of Samara State University, 2012, no. 59, pp. 112–119.

- 4. Grichuk D.V. Otnoshenie kadmiia i tsinka kak indikator vklada magmaticheskikh fliuidov v pitanii gidrotermal'nykh sistem [The ratio of cadmium and zinc as an indicator of the contribution of magmatic fluids in the supply of hydrothermal systems]. Moscow, Izdatel'stvo MGU, 2005, vol. 2, 82.
- 5. Faiziev A.R. Rudnoformatsionnye types of silver deposits of Tajikistan [Rudnoformatsionnye tipy serebrianykh mestorozhdenii Tadzhikistana]. Izvestiia Akademii nauk Respubliki Tadzhikistan Journal of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan., 2015, vol. 160, no. 3, pp. 92–99.
- 6. Ivin V.V., Medvedev E.I., Fat'ianov I.I. Mineralization zoning mnogometalnogo kumirnoe silver deposit (Northern primorye) [Zonalnost mnogometal''nogo orudeneniia kumirnogo mestorozhdeniia serebra (Severnoe primor''e)]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia. The successes of modern natural science, 2017, no. 3, pp. 85–91.
- 7. Kravtsova R.G., Tauson V.L., Pal'ianova G.A., Makshakov A.S., Pavlova L.A. Features of the composition of native silver of the gold and silver deposit Rogovik (North-East of Russia) [Osobennosti sostava samorodnogo serebra zoloto-serebrianogo mestorozhdeniia Rogovik (Severo-Vostok Rossii)]. Geologiia rudnykh mestorozhdenii. Geology of Ore Deposits, 2017, vol. 59, no. 5, pp. 385–400. DOI: 10.7868/S0016777017050045.

УДК 556.34:625.711.1(571.62)

# ОПАСНЫЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ В ГЛУБОКОЙ АВТОДОРОЖНОЙ ВЫЕМКЕ

<sup>1</sup>Квашук С.В., <sup>2</sup>Кулаков В.В., <sup>1</sup>Гильмутдинов С.А.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Хабаровск, e-mail: s kvashuk@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБУН «Институт водных и экологических проблем» ДВО РАН, Хабаровск, e-mail: vvkulakov@mail.ru

При строительстве автомобильного обхода г. Хабаровска на участке пересечения трассой водораздела хребта Хехцир в глубокой выемке в скальных породах, на северной окраине Хехцирского блокового поднятия, сложенного сильно дислоцированными мезозойскими и палеозойскими породами, выявлены опасные гидрогеологические проявления, угрожающие нормальному строительству и эксплуатации трассы. В зимний период на западном склоне выемки развивались наледи за счет разгрузки подземных вод по зоне тектонического нарушения. Это проявлялось также в постоянном в течение года избыточном увлажнении основания полотна автодороги за счет самоизлива подземных вод. В ходе специальных исследований (бурение скважин, геофизические исследования методом ВЭЗ, гидрометрические замеры расходов, разгружающихся в кюветах выемки подземных вод и экспресс-откачки из скважин) определено, что гидрогеологические условия участка очень сложные, область питания подземных вод расположена в водораздельной части Хехцирского хребта, который пересекает автодорога. По удельному электрическому сопротивлению выделяются блоки с низкими сопротивлениями, соответствующие раздробленной и обводненной зоне в верхней части и на глубину геологического разреза. Среднеомная зона соответствует переходной трещиноватой части породного массива, а высокоомная зона характеризует наличие в геологическом разрезе монолитных слаботрещиноватых скальных пород. Разгрузка подземных напорных трещинно-жильных вод происходит по тектоническому нарушению в скальных породах, представленных сланцами глинистыми, песчаниками, андезитами прочными, а также низкой и средней прочности, кремнистыми сланцами, алевропесчаниками, алевролитами, песчаниками, гранодиоритами малопрочными и средней прочности. Крутопадающая зона тектонического нарушения сложена глинистыми грунтами с включениями дресвы, щебня и крупных блоков скальных грунтов. В зимне-весенний период объемы наледей могут достигать 140000 м<sup>3</sup>, а водопритоки для расчета дренажной системы следует принять 6000 м³/сут. Рекомендована конструкция дренажной системы.

Ключевые слова: автодорожная выемка, сложные гидрогеологические условия, тектоническое нарушение, водопритоки, подземные воды, скальные породы, дренаж, гидрогеологические и геофизические исследования

### HAZARDOUS HYDROGEOLOGICAL PHENOMENA IN A DEEP HIGHWAY CUTTING

<sup>1</sup>Kvashuk S.V., <sup>2</sup>Kulakov V.V., <sup>1</sup>Gilmutdinov S.A.

<sup>1</sup>Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, e-mail: s\_kvashuk@mail.ru; <sup>2</sup>Institute of water and ecological problems of RAS FEB, Khabarovsk, e-mail: vvkulakov@mail.ru

Hydrogeological phenomena performing potential hazard to normal construction and operation of a highway around the city of Khabarovsk was met in the section of its crossing of Hehsir Range watershed in a deep rock cutting situated in the outskirts of the Hehsir Block Rise composed of highly deformed Mesozoic and Paleozoic rocks. Crust icings have been developing on the cutting's western slope during winter time due to groundwater discharge along a fault. It had also manifested itself by the seasonally repeated watering of the subgrade basement due to groundwater discharge. It was defined from special investigations (boreholes, geoelectrical prospecting, groundwater hydrometric discharge measurements for the cutting's culverts, and well test express pumping) that hydrogeological conditions of the highway section were very difficult, the inflow area is located on Hehsir Range watershed which is crossed by the highway. There are some blocks defined from specific electric resistance tests which correspond to the crushed and watered upper and deeper parts of geological cross-section. The mid-ohmic zone corresponds to the transitional fissured part of a rock massif, as well as its high-ohmic part characterizes the existence of monolithic low-fissured rocks. The mid-ohmic zone corresponds to the transitional fissured part of a rock massif, as well as the high-ohmic characterizes the existence of monolithic low-fissured rocks. The discharge of gangue-void waters follows the fault of the rocks species represented by slates, sandstones, high, medium and low strength andesites, siliceous schists, sandstone-siltstone rocks, siltstones, sandstones and granodiorites, having strength from low to medium. The sharpangled dip zone of the fault is composed of clayey soils filled with rotten stone and crushed stone and larger blocks aggregates. The crust icings can be growing up to 140 000 m<sup>3</sup> during winter-spring time and the computations of the water inflow make it up as much as 6000 m<sup>3</sup>/day. A corresponding drainage system is recommended.

Keywords: road excavation, complex hydrogeological conditions, tectonic disturbance, water inflows, groundwater, rock, drainage, hydrogeological and geophysical studies

Объект исследований представляет собою глубокую выемку (рис. 1) на строящейся автомобильной дороге M-60 «Уссури» от Хабаровска до Владивостока (обход города Хабаровска). При ее строительстве возникли опасные гидрогеологические проявления: из западного борта выемки и основания еще не уложенной дорожной одежды в летнее время фиксировались маленькие фонтан-

чики (грифоны) подземной воды, а в зимний период на западном откосе формировались наледи подземных вод. Также наблюдались выходы подземных вод в основании откосов выемки с левой и правой стороны.

Эти явления неизбежно вызвали бы инженерно-геологические процессы, угрожающие надежной и безопасной работе автодороги – активную эрозию, осыпание откосов, деформации основания дорожной одежды. В этих условиях понадобились дополнительные исследования к ранее выполненным до проходки выемки предпроектным инженерно-геологическим и гидрогеологическим исследованиям.

Целями исследования было выявление особенностей инженерно-геологических условий эксплуатации участка и оценки его сложности, выявления особенностей геологического разреза, оценки областей питания и разгрузки подземных вод, оценки водопротоков и разработки мероприятий по водопонижению.

Материалы исследований получены на основе комплексных полевых и аналитических работ, включающих гидрогеологические и инженерно-геологические рекогносцировочные маршруты, проведения

геофизических исследований методом ВЭЗ, оценку водопритоков методом восстановления уровней в скважинах, определение коэффициента фильтрации, замеров расходов ручьев по кюветам, за счет излива подземных вод в основании бортов выемки, аналитических расчетов, анализа опубликованных и фондовых материалов.

# Результаты исследования и их обсуждение

В геологическом отношении район работ приурочен к северной окраине Хехцирского блокового поднятия, сложенного сильно дислоцированными мезозойскими и палеозойскими породами [1].

Согласно тектоническому районированию, участок изысканий относится к Сихотэ-Алинской складчатой системе, Западно-Сихотэ-Алинской структурно-формационной зоне.

Через территорию изысканий в северозападном направлении протягивается Хехцирский разлом, выходящий на дневную поверхность и пересекающий автотрассу. Разлом в скальных породах перекрыт более молодыми рыхлыми обломочными образованиями и вскрыт в бортах изученной выемки.

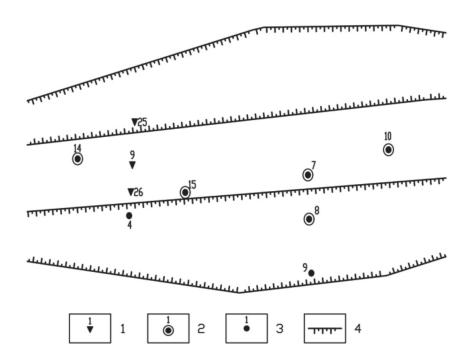


Рис. 1. Схема участка обследования: 1 — точки вертикального электрического зондирования; 2 — скважины, вскрывшие подземные воды; 3 — инженерно-геологические скважины; 4 — границы обследуемого участка

В пределах опасного участка, в местах излияния грифонов, на этапе исследований скважиной 9 до глубины 24,0 м вскрыты суглинки, а скальные грунты не встречены.

Это, вероятно, зона тектонического нарушения, заполненная глинистыми грунтами с крупнообломочными включениями и крупнообломочными грунтами. В период изысканий подземные воды на выемке встречены в скважинах № 10, 7 и 8.

Согласно геофизическим исследованиям методом ВЭЗ, проведенным на площадке выемки на этапе изысканий, выявлено, что электрическое сопротивление грунтов увеличивается с глубиной, что свидетельствует о том, что здесь залегают более прочные монолитные скальные грунты.

К примеру, ВЭЗ-25 на глубине 20,6 м показал увеличение сопротивления с 51 до 1249 Ом\*м. ВЭЗы 9 и 26 с глубины 45,1 и 45,0 м показали увеличение сопротивления соответственно до 688,6 и 1736 Ом\*м.

Инженерно-геологический разрез участка слагают элювиально-делювиальные отложения — глины, суглинки, супеси, в том числе дресвяные.

Кровля скальных и полускальных грунтов, вскрыта на глубине 0,9–20,0 м от дневной поверхности природного рельефа. Они представлены сланцами глинистыми, песчаниками, андезитами прочными, а также низкой и средней прочности, кремнистыми сланцами, алевропесчаниками, алевролитами, песчаниками, гранодиоритами малопрочными и средней прочности. Инженерно-геологические условия участка в связи с наличием зоны тектонического нарушения следует охарактеризовать как очень сложные.

В ходе обработки проведенных геофизических исследований были выявлены три зоны.

В зоне низких сопротивлений значения параметра электрического сопротивления грунтов составляют 200–300 Ом\*м, что соответствует раздробленной и обводненной зоне в верхней части и на глубину инженерно-геологического разреза.

Среднеомная зона соответствует переходной трещиноватой части породного массива в зоне разлома с сопротивлением 350–600 Ом\*м. По трещинам фиксируется сильное ожелезнение или они заполнены глиной, что также подтверждает наличие зоны тектонического нарушения.

Высокоомная зона с электрическим сопротивлением пород от 650 до 1000 Ом\*м характеризует наличие в геологическом разрезе монолитных слаботрещиноватых скальных пород. Эта полученная информация по результатам геофизических исследований методом ВЭЗ была подтверждена бурением скважин и при вскрытии (проходке) выемки.

При гидрогеологических наблюдениях в пределах выемки выяснилось, что выход подземных трещинно-жильных вод обусловлен наличием фиксируемого в массиве горных пород тектонического нарушения. В отличие от разгрузки подземных вод в Кузнецовском тоннеле, пройденном на Сихотэ-Алине [2], где установлено, что движение подземных вод через зону аэрации вертикально-нисходящее в пределах массива трещиноватых пород, на участке характеризуемой выемки наблюдается восходящее напорное движение трещинно-жильных вод.

В ходе проходки выемки в зимний период 2014–2015 и 2015–2016 гг. на западном борту образовывались наледи значительного объема. В зиму 2016–2017 гг. через отсыпанное полотно дороги в западном кювете изливалась подземная вода и образовывались наледи. По свидетельству строителей, изливающаяся вода была «теплая» (примерно 8–12 °C) по сравнению с ледяной водой, появляющейся при таянии снега и наледного льда. Также наблюдаются грифоны в местах стояния воды в кювете. Сток воды по западному кювету направлен на юг.

В ходе гидрогеологического обследования трассы на водораздельном участке выемки выполнены замеры расхода разгрузки подземных вод поплавками в кюветах — два в западном и один — в восточном кюветах (рис. 2).

Замеренный расход разгрузки подземных вод в южном направлении трассы по западному кювету от первого ко второму участку замера увеличился с 13 до 14 л/с, т.е. достигал 46,8–50,4 м³/час (1123–1210 м³/сутки). Затем поток по западному кювету исчез в каменной загрузке кювета или под полотном трассы и через 150–200 м вновь появился в восточном кювете. Здесь расход подземных вод составил 8 л/с (28 м³/час или 691 м³/сутки).

При сохранении таких зафиксированных водопритоков (порядка 50 м³/час) без учета подземного потока под полотном дороги, возможный минимальный объем накопившегося наледного льда за зимний период с декабря по март может достичь объема порядка 140000 м³. Часть изливающихся напорных подземных вод вероятнее всего будет замерзать под трассой, вызывая пучение щебнистых грунтов в основании полотна дороги.



Рис. 2. Водоотводной кювет вдоль борта выемки

Для оценки величины коэффициента фильтрации скальных пород в основании автотрассы пробурены 2 скважины (№ 14 и 15) диаметром 150 мм пневмоударным способом с вакуумным извлечением разбуренной породы и подземных вод, глубиною 10,5 м. По окончании бурения в каждой скважине произведены замеры восстановления уровня подземных вод.

Скважина № 14 до глубины примерно 2,5–3,9 м вскрыла водонасыщенный слой в основании отсыпки полотна дороги. Скважина № 15, по-видимому, вскрыла слаботрещиноватые породы, и притока воды из приповерхностных слоев не наблюдалось.

По имеющемуся ряду значений коэффициента фильтрации по каждой скважине в зависимости от времени от начала наблюдений за восстановлением уровня определено расчетное значение коэффициента фильтрации, близкое к постоянному [3].

Используя опыт исследования наледной разгрузки подземных вод в районе г. Тынды [4, 5], где общая величина ресурсов подземных вод превышала зафиксированную в наледях в 4–6 раз, можно предположить, что суммарная разгрузка на строящейся автотрассе на участке, протяженностью порядка 800 м, может достигать 200–250 м³/час (до 6000 м³/сутки).

На трассе автодороги, в южной её части, имеющей заметный уклон поверхности на юг, до вскрытия выемки выделялся участок заболачивания. Это свидетельство постоянного увлажнения поверхности на горном склоне за счет разгрузки напорных трещинно-жильных подземных вод по зоне тектонического нарушения, не связанной с сезонным увлажнением делювиальных отложений.

При бурении инженерно-геологических скважин на этом участке выемки подземные воды были вскрыты скважинами 4, 7, 8 и 10. В скважинах 8, 10 и 12 был зафиксирован самоизлив подземных вод. К сожалению, не зафиксирован напорный уровень подземных вод над поверхностью земли.

Эти данные с учетом материалов геофизических исследований методом ВЭЗ свидетельствуют об очень сложном строении горного массива под строящейся автотрассой с постоянной разгрузкой напорных трещинно-жильных подземных вод по отдельным высокопроницаемым трещинам в зоне крутопадающего тектонического нарушения, которое сложено обломочным материалом с глинистым заполнителем и блоками скальных пород. Эти места разгрузки располагаются под полотном строящейся автодороги на участке протяженностью 600 м.

Областью питания водоносного горизонта трещинно-жильных вод являются участки повышенных гипсометрических отметок рельефа к западу и юго-западу в пределах Хехцирского хребта.

Исходя из результатов анализа материалов проведенных исследований и фондовых материалов, для скважины № 14 расчетное значение коэффициента фильтрации можно принять равным 2,0 м/сутки, а для скважины № 2-0,2 м/сутки.

По результатам наземных геофизических работ методом ВЭЗ и гидрогеологического изучения участка трассы на перевале в выемке установлено, что в этом месте в скальных породах зафиксировано крутопадающее тектоническое нарушение, представляющее зону раздробленных пород с повышенной водопроницаемостью. По нему циркулируют напорные трещинножильные воды, водопритоки которых фиксировались в процессе проходки выемки появлением наледей в зимние периоды на западном склоне и постоянным стоком подземных вод в летний период.

В мае – июне 2017 г. наблюдалась разгрузка напорных трещинно-жильных вод в основание полотна строящейся дороги. По скважине № 14 уровень подземных вод на конец наблюдения за восстановлением установился на глубине 0,57 м от поверхности дороги.

В зоне тектонического нарушения проницаемость массива крайне неоднородна. Определенный по результатам восстановления уровня подземных вод в скважинах коэффициент фильтрации изменяется от 0,2 до 2,0 м/сутки.

Измеренные расходы воды в трех точках в кюветах трассы изменялись от 8 до 14 л/с (28,8 - 50,4 м³/час). На участке от места замера № 2 до № 3 поверхностный поток скрывается под полотном дороги по направлению от западного кювета к восточному.

При сохранении таких водопритоков  $(50 \text{ m}^3/\text{час})$  возможный объем накопившегося наледного льда за зимний период с декабря по март может достичь объема  $140000 \text{ m}^3$ . Часть изливающихся напорных трещинно-жильных подземных вод будет замерзать под трассой, вызывая пучение щебнистых грунтов.

Общая величина суммарной разгрузки подземных вод (выходящая на поверхность и скрытая в разрушенных скальных породах) под полотном автотрассы на строящейся автотрассе на участке протяженностью 600 м [4, 5] может достигать 200—250 м³/час (до 6000 м³/сутки).

Выявленные особенности инженерногеологического строения и гидрогеологических условий участка и прогнозируемый объем разгрузки подземных вод обуславливают неэффективность использования для водопонижения исключительно линейного дренажа, даже двухстороннего. По нашему мнению, линейный дренаж следует дополнить пластовым дренажом для перехвата подземных вод, изливающихся под полотном дороги из основания выемки.

#### Список литературы

- 1. Гидрогеология СССР. Том XXIII. Хабаровский край и Амурская область / ред. Н.А. Маринов. М.: Недра, 1971.-514 с.
- 2. Zlobin G.A., Kulakov V.V. Geohydrological Situation at the Kuznetsovski Tunnel, Northern Sikhote Alin. Water Resources, 2015, Vol. 42, № 7. P. 876–888.
- 3. Кожназаров А.Д. Справочник по инженерной геологии / А.Д. Кожназаров. Алматы: издательство «ЭВЕРО», 2010. 530 с.
- 4. Шепелёв В.В. Надмерзлотные воды криолитозоны / В.В. Шепелёв; отв. ред. Р.В. Чжан; Российская акад. наук, Сибирское отд-ние, Ин-т мерзлотоведения им. П.И. Мельникова. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2011. 169 с.
- 5. Кондратьев В.Г. Инженерно-геокриологические проблемы федеральной автодороги «Амур» Чита Хабаровск / В.Г. Кондратьев, С.В. Соболева // Записки Горного института. 2009. Т. 183. С. 205—209.

## References

- 1. Red. N.A. Marinov Gidrogeologiia SSSR. Khabarovskii krai i Amurskaia oblast' [Hydrogeology of the USSR. Khabarovsk Krai and Amur oblast]. Moscow, Nedra, 1971, vol. 23. 514.
- 2. Zlobin G.A., Kulakov V.V. Geohydrological Situation at the Kuznetsovski Tunnel, Northern Sikhote Alin. Water Resources, 2015, vol. 42, no. 7, pp. 876–888.
- 3. Kozhnazarov A.D. Spravochnik po inzhenernoi geologii [Handbook of Engineering Geology]. Almaty, izdatel'stvo EVERO. 2010. 530.
- 4. Shepelev V.V. Nadmerzlotnye vody kriolitozony [Suprapermafrost waters in the cryolithozone]. Novosibirsk, Akademicheskoe izd-vo «Geo», 2011, 169.
- 5. Kondrat'ev V.G., Soboleva S.V. Engineering-geocryological problems of the federal highway «Amur» Chita Khabarovsk [Inzhenerno-geokriologicheskie problemy federal'noi avtodorogi Amur Chita Khabarovsk]. Zapiski Gornogo instituta Notes of the Mining Institute, 2009, no. 183, pp. 205–209.

УДК 504.03:627.17(571.56)

# ГИДРОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДЫ НЕКОТОРЫХ ОЗЕР ЛЕНО-АМГИНСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ И ПРОБЛЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЕНИЯ

### <sup>1</sup>Константинов А.Ф., <sup>2</sup>Николаева Н.А.

<sup>1</sup>ΦΓΑΟУ «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Физико-технический институт, Якутск, e-mail: agitk@mail.ru; <sup>2</sup>Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения Российской Академии наук, Якутск, e-mail: nna0848@mail.ru

Основным сельскохозяйственным регионом Центральной Якутии является Лено-Амгинское междуречье, где сосредоточено несколько административных районов. Территория характеризуется засушливым климатом, обусловленным малым количеством выпадающих осадков. Кроме того, качественное питьевое и хозяйственное водоснабжение лимитируется недостаточным количеством водных ресурсов, к которым относятся несколько малых рек и многочисленные пересыхающие термокарстовые озера с некачественной водой. Несмотря на то, что на территории междуречья реализуется строительство системы водоводов для перекачки чистой воды из р. Лены, питьевое водоснабжение сельского населения осуществляется из озер без специальной подготовки, очистки и обеззараживания. С целью выявления возможности питьевого водообеспечения сельского населения было проведено полевое исследование большинства озер одного из самых засушливых районов междуречья – Усть-Алданского. Произведен отбор проб воды на лабораторный химический анализ и дана оценка современного качественного состояния воды термокарстовых озер. В результате анализа проб воды определено, что экологическая ситуация, связанная с современным качественным состоянием питьевой воды в Усть-Алданском районе, неблагоприятна. Вода озер не отвечает требованиям, предъявляемым к питьевой воде по органолептическим показателям (цветности, запаху и др.), по содержанию хлоридов, марганца и магния и отсутствию фтора. Таким образом, на территории улуса вопрос качественного водообеспечения все еще требует своего решения, основным из которых является завершение строительства системы водопроводов, включая строительство локальных водопроводов, водоохранных мелиоративных сооружений, очистных сооружений и других гидротехнических сооружений из р. Лены. Водоснабжение отдаленных от водоводов населенных пунктов следует ориентировать на использование воды из озер и подземных источников. Наиболее целесообразной является централизованная организация заготовки и хранения льда путем механизации добычи и транспортировки, а также сооружения вместительных подземных хранилищ.

Ключевые слова: Центральная Якутия, засушливость, недостаточное водоснабжение, термокарстовые озера, гидрохимический анализ, качество воды

## HYDROCHEMICAL STATE OF WATER OF SOME LAKES IN THE LENO-AMGINSKY INTERFLUVE AND WATER SUPPLY PROBLEMS OF ITS RURAL POPULATION

### <sup>1</sup>Konstantinov A.F., <sup>2</sup>Nikolaeva N.A.

<sup>1</sup>North-Eastern Federal University, Physical and Technical Institute, Yakutsk, e-mail: agitk@mail.ru; <sup>2</sup>The V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North, Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Yakutsk, e-mail: nna0848@mail.ru

Main agricultural region of Central Yakutia is the Leno-Amginsky interfluve, where several administrative districts are concentrated. The territory is characterized by an arid climate, caused by a low amount of precipitation. Besides, high-quality drinking and domestic water supply is limited by insufficient quantity of water resources, which include several small rivers and numerous drying thermokarst lakes with poor-quality water. Despite the fact that a construction of a water supply system in the interfluve territory is being implemented to pump clean water from the Lena River, drinking water supply of the rural population has been realized from lakes without special preparation, cleaning and disinfection. In order to identify the possibility of drinking water supply to the rural population, a field survey was conducted on majority of lakes in one of the most arid regions of the interfluve - Ust-Aldansky district. Sampling of water for laboratory chemical analysis was made, and an assessment of the current qualitative state of water in thermokarst lakes was carried out. As a result of the analysis of water samples, it is determined that the environmental situation associated with the current high quality drinking water in Ust-Aldansky district is unfavorable. The water of lakes does not meet the requirements for drinking water by organoleptic indicators, the content of chlorides, manganese and magnesium and the absence of fluorine. Thus, on the territory of the region, the issue of quality water supply still requires its solution, the main of which is the completion of the construction of a water supply system, including construction of local water pipes, water conservation land reclamation facilities, treatment facilities and other hydraulic structures from the Lena River. Water supply of localities remote from water pipes should be orientated towards use of water from lakes and underground sources. Centralized ice stocking up and storage by gaining and transportation mechanization, as well as construction of large underground repository are most expedient one

Keywords: Central Yakutia, aridity, unsufficient water supply, thermokarst lakes, hydrochemical analysis, water quality

Лено-Амгинское междуречье, расположенное в Центральной Якутии, является одним из наиболее засушливых регионов Республики Саха (Якутия), в котором остро стоит проблема хозяйственно-питьевого водоснабжения. Ведущей отраслью экономики региона является сельскохозяйственное производство,

представленное животноводством и выращиванием зерновых, овощных и кормовых культур [1]. Сельское хозяйство развивается в специфических природно-климатических условиях, характеризующихся сплошным распространением многолетнемерзлых пород и резко континентальным климатом, наиболее неблагоприятными последствиями которых являются очень малое среднегодовое количество осадков (200–300 мм) и недостаточное количество водных ресурсов.

Водные ресурсы Усть-Алданского района, одного из самых засушливых административных районов Лено-Амгинского междуречья, представлены весьма скудно. К ним относятся несколько малых рек, характеризующихся крайне неравномерным распределением внутригодового а также многочисленные, усыхающие летом термокарстовые озера. Озера Лено-Амгинского междуречья расположены вне зон антропогенного влияния, по химическому составу различны и зависят в основном от генетического типа водоемов [2]. Небольшая глубина (1-1,5 м), бессточность, разложение остатков растительности и отходов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных приводят к ухудшению качества воды этих озер, из-за чего она становится непригодной для питьевого водопотребления без специальной подготовки, очистки и обеззараживания.

Тем не менее большая часть сельского населения традиционно потребляет ультрапресную талую ледовую воду, не отвечающую требованиям к качеству питьевой воды. Как результат, неудовлетворительное качество питьевой воды является причиной высокого уровня заболеваемости населения кишечными инфекциями бактериальной и вирусной этиологии [3].

В целях водоснабжения населенных пунктов качественной питьевой водой, а также обводнения термокарстовых озер, мелиорации земель сельскохозяйственного использования и повышения урожайности сенокосных угодий, пастбищ и посевных площадей на протяжении более чем двух десятилетий на территории Лено-Амгинского междуречья осуществляется крупный инвестиционный проект — строительство и эксплуатация водоводов для обеспечения засушливых районов водой из р. Лены [1].

Так, в течение 1993—1996 гг. на территории Усть-Алданского улуса был спроектирован и сооружен, а в 1998 г. введен

в эксплуатацию водовод р. Лена - оз. Мюрю протяженностью 73,71 км с ежегодным объемом потребления воды 2995 тыс. м [1]. В 2003–2005 гг. была разработана проектно-сметная документация второго в районе магистрального водовода – оз. Хачыдыма – с. Бэди – с. Дюпся для обеспечения питьевой водой населенных пунктов Дюпся, Остойка и Бэди с общим количеством населения 4,5 тыс. чел. Проектом были предусмотрены следующие сооружения: строительство водовода длиной 20,9 км диаметром трубы 400 мм; устройство эксплуатационной дороги протяженностью 10,9 км, водохранилищ около сел Дюпся и Бэди. Но в связи с недофинансированием это строительство в полной мере до сих пор не завершено. К настоящему времени еще ни разу не были выполнены проектные объемы перекачки воды из р. Лены этими двумя водоводами, что связано с увеличением эксплуатационных затрат на содержание водоводов и увеличением стоимости воды [1].

Таким образом, проблема обеспечения качественной водой сельскохозяйственных районов Лено-Амгинского междуречья до сих пор полностью не решена, но население для питьевых целей продолжает использовать озерную воду. В связи с этим было проведено полевое исследование большинства озер Усть-Алданского района с целью отбора проб воды на лабораторный гидрохимический анализ.

Цель исследования: дать оценку современного гидрохимического состояния термокарстовых озер Лено-Амгинского междуречья на примере Усть-Алданского района для определения возможности питьевого водообеспечения сельского населения.

### Материалы и методы исследования

Отбор проб воды на гидрохимический анализ, хранение и транспортировку были произведены в соответствии с требованиями [4]. Транспортировка проб проводилась в пластиковой и стеклянной таре, обеспечивающей их сохранность.

Химический анализ воды был произведен в химической лаборатории ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по РС (Я)» по общепринятым методикам. Результаты анализов были сравнены с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) химических веществ согласно требованиям по питьевому назначению и по органолептическим показателям с действующими стандартами [5, 6].

Определены органолептические свойства воды (запах, цвет, мутность, прозрачность и т.д.), минерализация, окисляемость, щелочность, жесткость, содержание главнейших солей, биогенных элементов, фтора, нефтепродуктов, СПАВ, фенолов, меди, марганца, хрома общего и полифосфатов.

Всего было отобрано 12 проб воды и выполнено 360 определений.

# Результаты исследования и их обсуждение

Воды рек и озер в основном маломинерализованы, относятся к типу очень мягких и мягких вод, обедненных кальцием и магнием. Они имеют неблагоприятные органолептические свойства, местами — высокую минерализацию, крайне неудовлетворительны по бактериологическим показателям. Региональной особенностью вод Центральной Якутии является недостаток в них фтора и йода. В среднем содержание фтора в 2–2,5 (а местами в 10 раз) ниже оптимальных для здоровья величин, что вызывает необходимость фторирования воды [3].

Борогонцы – центр Алданского улуса. Основными источниками водоснабжения являются оз. Мастаах и подземные воды. В с. Борогонцы пробурена скважина, которая действует с 1985 г. с дебитом 90-95 куб. м/сут, однако качество воды не позволяет использовать ее для питьевых нужд, поэтому вода частично используется для технических нужд. В настоящее время скважина работает в режиме постоянной циркуляции, а вода просто сбрасывается на местность. Пробы воды отобраны из оз. Мастаах, из скважины, а также смеси воды из оз. Мастаах и скважины в пропорции 1:1.

По результатам анализа вода оз. Мастаах по солевому составу явилась гидрокарбонатно-кальциевой с малой минерализацией. По органолептическим показателям качество воды относится ко II классу (цветность, запах и мутность превышают допустимую норму). Реакция воды щелочная (рН = 9); обнаружено превышение содержания магния (1,7 ПДК) и марганца (1,8 ПДК), отсутствует фтор. По остальным показателям вода соответствует санитарным нормам.

Качество воды из скважины по органолептическим свойствам относится ко II классу (цветность 122 против 20; запах и прозрачность – на уровне ПДК). Вода сильно минерализована (сухой остаток 1175 мг/л), отмечено повышенное содержание хлоридов (1,6 ПДК) и натрия (2 ПДК); вода

по составу хлоридно-натриевая. Также отсутствует фтор. По остальным показателям превышений нормы не обнаружено.

Анализ смеси воды из оз. Мастаах и скважины показал, что по органолептическим свойствам вода относится ко II классу (превышение по цветности). Обнаружено несколько повышенное содержание по минерализации (919,1 мг/л), по составу вода хлоридно-натриевая (хлориды — 1,8 ПДК); в воде также отсутствует фтор.

Водоснабжение населения с. Кептени численностью населения около 1600 чел. осуществляется из озера Огус-Харага, расположенного в 4 км к юго-западу от села. Озеро небольшое и мелководное, длина его около 250 м, ширина 120–150 м. Максимальная глубина 2,2 м, поэтому объем воды незначительный. С озера завоз воды производится тракторами, снабженными цистернами с насосной установкой.

Анализ воды оз. Огус-Харага по органолептическим показателям также относится ко II классу в соответствии с ГОСТ 2761-84 (вода не соответствует по цветности и мутности). В воде отмечается наличие железа общего, содержание которого несколько больше допустимых норм, и также отсутствует фтор. Содержание остальных ингредиентов соответствует санитарным нормам. По составу вода озера гидрокарбонатномагниевая.

Село Дюпся с численностью населения около 1600—1700 чел., снабжается водой из нескольких озер и использует подземные воды. Так, в зимнее время население села использует воду из озера Уоттаах, расположенного в 2 км от села, а также из озера Бюлтэй (местность Луку), в 5—6 км к северу от села.

По результатам химического анализа вода озера Бюлтэй очень мягкая (жесткость 0,61 мг-экв/л), по солевому составу является маломинерализованной, гидрокарбонатно-кальциевой. По органолептическим показателям относится ко ІІ классу (превышение ПДК по цветности). Реакция воды щелочная (рН = 8,7). Обнаружено повышенное содержание магния (1,7 ПДК) и марганца (2,2 ПДК). По другим ингредиентам вода соответствует санитарным требованиям.

Небольшое озеро Бяппи (местность Дабаадыма) расположено примерно в 7 км к югу от с. Дюпся. Качество воды в озере по органолептическим показателям также не отвечает требованиям ГОСТ и относится ко II классу (превышение по цветности

в 5 раз по сравнению с допустимыми нормами). Реакция воды щелочная — pH = 9,3; вода жесткая — 5,81 мг-экв/л, гидрокарбонатно-магниевая. Обнаружено превышение по магнию (2 ПДК), отсутствует фтор.

Село Хомустах с населением 354 чел. использует воду оз. Таастаах, расположенного в 2 км от села. Качество воды по органолептическим показателям относится ко II классу (превышение по цветности и мутности). Реакция воды слабощелочная (рН = 8,6), вода гидрокарбонатномагниевая. Вода по показателям соответствует санитарным нормам, кроме магния (1,35 ПДК).

Село Сыырдаах населением 1050 чел. использует воду из оз. Сыырдаах, имеющего большие размеры и достаточные глубины. По качеству вода озера соответствует II классу (превышение – по цветности и мутности). Реакция воды щелочная и превышает норму (рН = 9,1). По солевому составу вода гидрокарбонатно-кальциевая. Кроме того, отмечено высокое содержание по магнию (2,04 ПДК) и по марганцу (2,3 ПДК); по остальным показателям вода соответствует санитарным нормам.

Население с. Сайылык численностью 1030 чел. снабжается водой из оз. Сыырдаах, а с. Бэйдингэ численностью 636 чел. из оз. Бэйдингэ, в основном в виде льда. В результате химического анализа льда определено, что по органолептическим свойствам вода относится к 1 классу. Реакция воды нейтральная. Состав гидрокарбонатно-магниевый с превышением нормы по марганцу (1,3 ПДК). Вода очень мягкая, но отсутствует фтор. По остальным показателям вода соответствует санитарным нормативам.

Население с. Арыылаах использует воду оз. Халынгда только в виде льда, так как летом качество воды не отвечает нормативам. Анализ льда показывает, что по органолептическим показателям вода относится ко II классу (превышение по цветности и мутности). Реакция воды щелочная (рН = 8,9); по солевому составу гидрокарбонатно-кальциевая. Обнаружено превышение по марганцу (1,8 ПДК), а также отсутствует фтор. По другим показателям вода соответствует санитарным нормативам.

Население с. Биэттэ использует воду из озер Токур и Харах. Население численностью 700 чел. Расстояние этих озер от села около 13 км. Качество воды оз. Токур по органолептическим показателям относится ко II классу (превышение по цветности).

Реакция воды близка к нейтральной, а солевой состав гидрокарбонатно-кальциевый. Обнаружено повышенное содержание магния (1,5 ПДК), по железу общему (1,1 ПДК) и марганцу (1,01 ПДК), а также отсутствует фтор. По другим показателям вода соответствует санитарным нормам.

Вода из скважины (с. Борогонцы) сильно минерализована и не отвечает санитарным требованиям по хлоридам и натрию, а также – по отсутствию фтора.

#### Выводы

Вода озер Лено-Амгинского междуречья по химическим и биологическим показателям может быть оценена как средне и достаточно загрязненная и как непригодная для питья людей [2].

Несмотря на реализацию значительной части инвестиционного проекта по строительству магистральных водоводов в засушливых районах Центральной Якутии в целях водоснабжения населенных пунктов качественной питьевой водой, обводнения озер и мелиорации земель сельскохозяйственного использования [1], выявлено, что основным источником водоснабжения для подавляющего большинства небольших населенных пунктов Усть-Алданского района остаются статические запасы воды термокарстовых озер. В результате гидрохимического анализа проб воды определено, что экологическая ситуация, связанная с современным качественным состоянием питьевой воды в Усть-Алданском районе, неблагоприятна. Вода озер не отвечает требованиям, предъявляемым к питьевой воде по органолептическим показателям (цветности, запаху и др.), по содержанию хлоридов, марганца и магния и отсутствию фтора.

Таким образом, на территории улуса вопрос качественного водообеспечения все еще требует своего решения или минимизации проблемы. Основным направлением является завершение строительства системы водопроводов, включая строительство локальных водопроводов, водоохранных мелиоративных сооружений, очистных сооружений и других гидротехнических сооружений из р. Лены во многих населенных пунктах Усть-Алданского и других районов Лено-Амгинского междуречья.

Водоснабжение отдаленных от трасс водоводов населенных пунктов следует ориентировать на использование воды из озер и подземных источников. Наиболее целесо-

образной представляется централизованная организация заготовки и хранения льда путем механизации добычи и транспортировки, а также сооружения вместительных подземных хранилищ.

#### Список литературы

- 1. Егоров Е.Н. и др. О реализации и эффективности инвестиционного мегапроекта на сельских территориях PC(Я) [Электронный ресурс]. URL: http://news.iltumen.ru/komentarii/2015/06/o-realizatsii-i-effektivnosti-investi (дата обращения: 20.04.2018).
- 3. Мартынова Г.А., Туренко Ф.П. Поверхностные воды Якутии как источник питьевого водоснабжения. Качество и особенности водоподготовки // Омский научный вестник. 2006. № 3 (32). С. 167–171.
- 4. ГОСТ 31861 2012. Вода. Общие требования к отбору проб. Взамен ГОСТ Р 51592 2000; введ. 2014 01-01. М.: Стандартинформ, 2013. 36 с.
- 5. Об утверждении нормативов качества водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Министерство сельского хозяйства РФ. Приказ № 552 от 13 декабря 2016 года [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/420389120 (дата обращения: 20.04.2018).
- 6. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных источников хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. ГН 2.1.5.1315-03, утвержденные Главным государственным санитарным врачом РФ 27 апреля и введенные в действие с 15 июня 2003 года. М., 2003.

### References

- 1. Egorov E.N., Nikiforov M., Gavril'ev I. O realizatsii i effektivnosti investitsionnogo megaproekta na sel'skikh territoriiakh RS(Ia). [ On the implementation and effectiveness of the investment megaproject in rural areas of the RS (Y).]. Available at: http://news.iltumen.ru/komentarii/2015/06/o-realizatsii-ieffektivnosti-investi (accessed 20.04.2018).
- 2. Ksenofontova M.I., Ushnitskaia L.A. Ecological assessment of lakes condition in Len-Amgin country between two rivers [Ekologicheskaia otsenka sostoianiia ozer Leno-Amginskogo mezhdurech'ia]. Problemy regional'noi ekologii Problem of regional ecology, 2008, no. 2, pp. 12–14.
- 3. Martynova G.A., Turenko F.P. Surface water of Yakutia as source of drinking water supply. Quality and features of water treatment [Poverkhnostnye vody Iakutii kak istochnik pit'evogo vodosnabzheniia. Kachestvo i osobennosti vodopodgotovki]. Omskii nauchnyi vestnik Omsk scientific bulletin, 2005, vol. 3, no. 32, pp. 167–171.
- 4. GOST 31861 2012. Water. General requirements to sampling. Instead of GOST P 51592 2000; введ. 2014 01-01. М.: Standartinform, 2013. 36 р.
- 5. MSKh RF Ob utverzhdenii normativov kachestva vodnykh ob»ektov rybokhoziaistvennogo znacheniia, v tom chisle normativov predel'no-dopustimykh kontsentratsii vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob»ektov rybokhoziaistvennogo znacheniia. MSKh RF. Prikaz No. 552 ot 13.12.16. [About the approval of standards of quality of water objects of fishery value, including standards of maximum-permissible concentration of harmful substances in waters of water objects of fishery value. Order No. 552 of 13.12.16]. Available at: http://docs.cntd.ru/document/420389120 (accessed 20.04.2018).
- 6. The Maximum-permissible Concentration (MPC) of chemicals in water water economic and drinking and cultural and community water use: Hygienic standards. GN 2.1.5.1315-03, approved as the Chief state health officer of the Russian Federation on April 27 and put into operation since June 15, 2003. M., 2003.

УДК 551.762:551.21(571.56)

# ВУЛКАНОГЕННЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ КАНГАЛАССКОЙ ТЕРРАСЫ (ЛЕВЫЙ БЕРЕГ РЕКИ ЛЕНА, ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ)

### Костин А.В., Трунилина В.А.

ФГБУН «Институт геологии алмаза и благородных металлов» Сибирского отделения Российской академии наук (ИГАБМ СО РАН), Якутск, e-mail: kostin@diamond.ysn.ru

Территория Лено-Вилюйского водораздела до недавнего времени считалась амагматичной. Первые проявления вулканической деятельности на этой площади были обнаружены в 2014 г. в 270 км к западу от города Якутск. Признаки вулканической деятельности вблизи города Якутска первоначально были выделены на космических снимках Microsoft Bing Maps, а в 2016-2017 гг. на левом берегу реки Лена впервые были установлены вулканические сооружения двух типов. Первый - небольшие купольные структуры с лавовыми и шлаковыми конусами, второй – покровы, приуроченные к лавовыводящим разломам. Вулканические породы представлены андезитобазальтами, андезитами, дацитами и риодацитами. Крупные пустоты в лавах обычно заполнены кристобалитом. Состав и взаимоотношения вулканических пород и присутствующих в них ксенолитов позволяют предполагать гомодромную направленность эволюции магматизма района. В лавовых полях определены вариолитовые разновидности андезитобазальтов и андезитов. В вариолитовых андезитах обнаружены включения графитизированного угля с четкими контактами. Поисковым признаком вулканических образований являются вулканические туфы, которые ранее рассматривались как горельники. При изучении вулканических пород нами установлено отсутствие следов горения контактирующих с ними углей. Туфы выделяются по характерным красным оттенкам на космических снимках и в природных обнажениях. В красных литокристаллокластических туфах присутствует захороненная в процессе роста флора верхнеюрских папоротников, что характеризует аналогичный возраст проявления вулканизма. Магмогенерация базальтового и андезитового расплава проходила при давлении 1,4 и 1,2 ГПа, дацитового и риодацитового – 1,1 и 0,9 ГПа при максимальной температуре расплавов соответственно 1150, 1020, 950 и 900°С.

Ключевые слова: Кангаласская терраса, Центральная Якутия, вулканизм, красные туфы

# VOLCANOGENIC CREATIONS OF KANGALASSKY TERRACE (LEFT BANK OF THE LENA RIVER, CENTRAL YAKUTIA)

### Kostin A.V., Trunilina V.A.

Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (DPMGI SB RAS), Yakutsk, e-mail: kostin@diamond.ysn.ru

The territory of the Lena-Vilyui watershed, until recently, was considered amagmatic. The first signs of volcanic activity in this area was discovered in 2014, 270 km West of the city of Yakutsk. Signs of volcanic activity near Yakutsk were found in Microsoft Bing Maps satellite images, and in 2016-2017 two types of volcanic structures were first discovered on the left Bank of the Lena river. The first one – a small dome structures with lava and slag cones, the second one is confined to lava-removing faults. Volcanic rocks are represented by andesibasalts, andesites, actites and riodacites, Cavities in lavas are usually filled with cristobalite. The composition and relationships of volcanic rocks and present in xenoliths suggests homodromic sequence of the magmatism evolution in the district. In lava fields are defined variolite varieties of andesibasalts and andesites. In variolitic andesites were found inclusions of graphitized coal with clear contacts. The search feature for volcanic formations are volcanic tuffs, which were previously considered as a burnt rock. In the study of volcanic rocks, we found no traces of combustion of the coal in contact with them. Tuffs stand out with a specific red hue on the SAT-images and in natural outcrops. In red lithocristaloclastic tuffs was discovered a buried in the process of growth upper Jurassic flora of ferns what characterizes the similar age of volcanism. The formation of basaltic and andesitic melts passed under pressure – 1.4–1.2 GPa, dacites and riodacites 1.1–0.9 GPa at a maximum temperature of melts, respectively, 1150 °C, 1020 °C, 950 °C and 900 °C.

Keywords: Kangalassky terrace, Central Yakutia, volcanism, red tuffs

Рассматриваемая территория, относящаяся к Лено-Вилюйскому водоразделу, до настоящего времени считалась амагматичной. В 2014 г. в пределах Тюгенинской площади были впервые выявлены следы вулканической деятельности и ранее неизвестный вулканический конус (координаты жерла вулкана: N62,50°; E125,72°), сложенный дацитовыми туфами, лавами и лавобрекчиями [1]. При дальнейших полевых исследованиях в Лено-Вилюйском районе были установлены многочисленные «вулка-

нические постройки» небольшого размера, сложенные андезитовыми и дацитовыми туфолавами, их агглютинатами, пемзами с шаровой отдельностью и туфами [2]. Особое внимание при их изучении было уделено туфам, которые занимают самые верхние части разрезов вулканогенных образований, характеризуются четко выраженной грубой слоистостью и имеют характерную окраску — от бледно-красной до кирпичной, вследствие чего часто принимались за горельники.

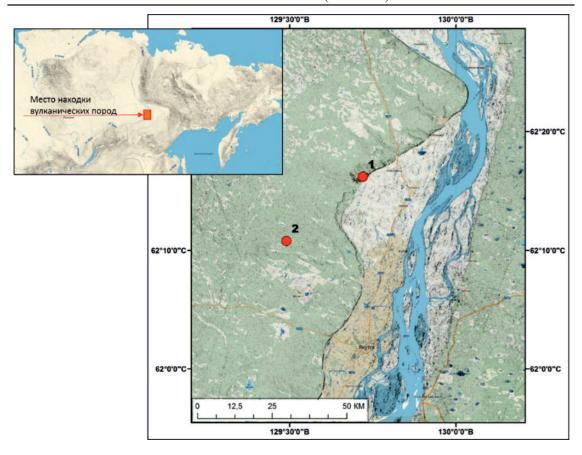


Рис. 1. Расположение проявлений вулканических пород в юрских отложениях Кангаласской террасы: 1 – Молотовская падь; 2 – Намцырское

В 2016-2017 гг. при обследовании коренной террасы в северной части долины Туймаада (рис. 1), в 26 км севернее г. Якутска (левый берег р. Лена, склон Кангаласской террасы), были обнаружены многочисленные, ранее неизвестные коренные выходы вулканических и субвулканических пород. В коренном обнажении около 10 м шириной наблюдались выходы андезитов с большим количеством кристобалита и их подводящий канал, в котором, кроме черных пористых лав, присутствуют округлые, вероятно, оплавленные обломки (до 0,5 м) тяжелых полнокристаллических пород – пикритов. На участке Намцырского тракта [N62,18° E129,49°] в заброшенном карьере среди песков и слабо литифицированных песчаников были обнаружены красные туфы, пемзы, лавы и лавобрекчии риолитов, дацитов и андезитов.

Целью проведенных исследований являлась систематизация и выяснение особенностей состава и генезиса вулканогенных образований Кангаласской террасы.

### Материалы и методы исследования

Характерная окраска является важным поисковым признаком вулканических построек и прекрасно дешифрируется на детальных снимках Microsoft BingMap. Это позволило обнаружить многочисленные вулканические сооружения в левом борту Кангаласской террасы. В коренных обнажениях и небольших карьерах были собраны разновидности вулканических пород. Для всех разновидностей пород проведен силикатный анализ, включающий определение суммы окислов элементов. Определение минералогического состава пород неясного генезиса проводилось методом рентгенофазового анализа на дифрактометре D2 PHASER фирмы Bruker. Петрографические особенности пород изучались на оптических микроскопах Olympus BX50 и Leica DM ILM в прозрачных и полированных шлифах. Диагностика и анализ минералов пород выполнены на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6480 LV.

Все исследования проводились в лаборатории физико-химических методов анализа ФГБУН ИГАБМ СО РАН.

# Результаты исследования и их обсуждение

Исследования авторов проведены на двух участках Кангаласской террасы: Молотовская падь и Намцырское, локализованных в пределах Большого Якутска (долина р. Лены между Табагинским и Кангаласским мысами (рис. 1). В геологическом отношении он локализован в зоне сочленения Алданской антеклизы и Вилюйской синеклизы. По материалам геологических съемок масштабов 1:200000 и 1:500000, на участке Moлотовская падь [N62,25°; E129,70°] породы левого борта р. Лены представлены песчаниками (преобладают) и песками с прослоями и пластами алевролитов, аргиллитов и углей нижневилюйской, марыкчанской и бергеинской нерасчлененных свит верхней юры  $(J_3 nv - br)$ . Выходы пород нижневилюйской свиты в пределах Большого Якутска не известны. Марыкчанская свита сложена чередованием темно-серых и черных аргиллитов и алевролитов, часто углистых, с маломощными прослоями мелкозернистых светло-серых песчаников. Свита включает несколько линз и прослоев бурых углей. Выше согласно залегает бергеинская свита из мощных пластов светло-серых, почти белых песчаников, переслаивающихся с темно-серыми алевролитами и черными углистыми аргиллитами.

На участке Молотовская падь на протяжении 5 км в серии коренных обнажений и их фрагментов и в стенках шести небольших карьеров вскрываются покровы андезито-дацитов видимой мощностью более 20 м и небольшая экструзия дацитов. В некоторых обнажениях наблюдаются выходы пластов бурого угля мощностью до 0,5 м, брекчированные и сцементированные лавой, причем обломки угля в лавах не сгорели.

На участке Намцырского тракта [N62,18° E129,49°] в заброшенном карьере в коренном разрезе вскрываются (сверху вниз): 1 — светло-желтые пески, слабо литифицированные песчаники, гравелиты (5–8 м); 2 — угли (0,5 м); 3 — красные туфы с обильной флорой папоротников и хвощей (1–1,5 м); 4 — лавы, лавобрекчии и пемзы дацит-риодацитового состава (1,5–2 м); 5 — светло-серые песчаники, рассеченые небольшими дайками, выполняющими лавовыводящие трещины (более 3 м).

Петрография вулканогенных образований

При изучении коренных обнажений Кангаласской террасы в 2016–2017 гг. впервые были установлены лавы, лавобрекчии, туфопесчаники и субвулканические породы преимущественно среднего и кислого состава. Фрагментарная обнаженность не позволяет однозначно установить взаимоотношения между всеми разностями вулканитов, но, с учетом данных по Тюгенинскому полю [1] и состава ксенолитов, можно полагать в целом гомодромную направленность эволюции магматизма района: ультраосновные расплавы (ксенолиты пироксенитов и пикритов)  $\rightarrow$  пикробазальты  $\rightarrow$ андезиты (покровы) → дациты, риодациты и риолиты (покровы и экструзии).

Лавы, лавобрекчии и игнимбриты перекрыты отложениями красных туфов и слабо литифицированных песчаников. Вулканические туфы характеризуются четко выраженной грубой слоистостью и имеют характерную окраску - от бледно-красной до кирпичной. Под микроскопом структура их литокристаллокластическая, с пепловым цементом. Здесь кристаллы и угловатые обломки кристаллов полисинтетически сдвойникованного кислого плагиоклаза, слабо пелитизированного калишпата и кварца, неправильной формы обособления порфирового андезита и обрывки стекла сцементированы тонко распыленным пирокластическим материалом, пропитанным гидроокислами железа, что и придает породам характерные оттенки. В ожелезненных пепловых туфах присутствуют разноразмерные, четко очерченные остатки верхнеюрской флоры – листьев и стеблей папоротников, захороненных во время извержения (рис. 2, А, Б и В). Границы между включениями пород и стекла достаточно четкие – спекшиеся туфы, или игнимбриты (рис. 2, ГиД) [3].

Лавобрекчии представлены разноразмерными обломками гиалопилитовых андезитов или вариолитовых андезибазальтов в пузырчатом стекле гиалиновой структуры дацит-риодацитового состава, содержащем мельчайшие микролиты, оскольчатые зерна и кристаллиты полевого шпата (рис. 2, Е). Кластолавы отличаются от них присутствием крупных ксенолитов пироксенитов, в которых зерна частично уралитизированного клинопироксена прорастают лейстами плагиоклаза андезитов. Предположительно такие скопления могут являться вынесенными при излиянии лавы обломками фунламента.

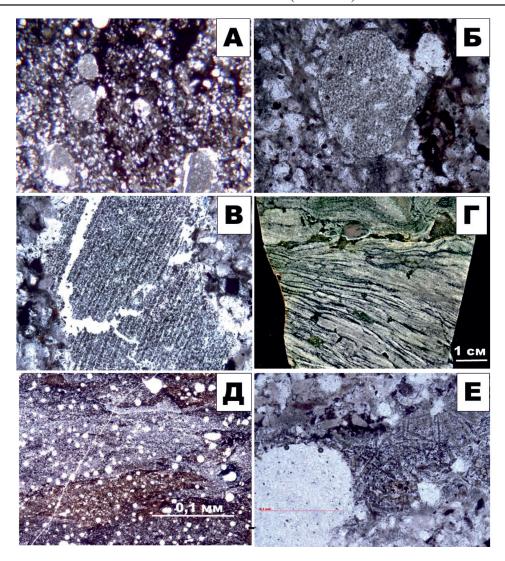


Рис. 2. Разновидности вулканических пород: А — Ожелезненный литокристаллокластический туф с пепловым цементом и остатками стеблей папоротников, илиф 1043 (николи параллельны); Б — Увеличенный срез стебля папоротника в красном туфе; В — Остатки листа папоротника в ожелезненном пепловом туфе; Г — Игнимбриты правого борта Кангаласской террасы (обр. 1044/3): светлое — обломки пористой лавы с кристаллитами; черное — вытянутые и уплощенные параллельно поверхности светлых пористых лав обрывки и линзы стекла; бурое — ксенолиты оливин-пироксеновой породы; Д — Спекшийся туф (игнимбрит), илиф 1044/3 (николи параллельны); Е — Обломок вариолитового андезита в пузырчатом даците, шлиф 1044/3д (николи параллельны)

Андезиты и андезибазальты массивные и миндалекаменные, порфировые или олигофировые, с вкрапленниками полисинтетически сдвойникованного основного плагиоклаза в пилотакситовой или интерсертальной основной массе, в которой на фоне разложенного, интенсивно хлоритизированного и ожелезненного стекла наблюдаются тонкие лейсты плагиоклаза и микропризмочки клинопироксена. Вариолитовые андезибазальты мелкопузыри-

стые, сложены лучистыми и радиально-лучистыми сростками игольчатых кристаллов клинопироксена и лабрадора, в промежутках между которыми фиксируется бурое разложенное стекло (рис. 3, A). В них наблюдаются включения черного графитизированного угля размерами до 2–2,5 мм без признаков оплавления. При этом иголочки клинопироксена и лейсты плагиоклаза в контакте с углем огибают такие включения (рис. 3, Б).

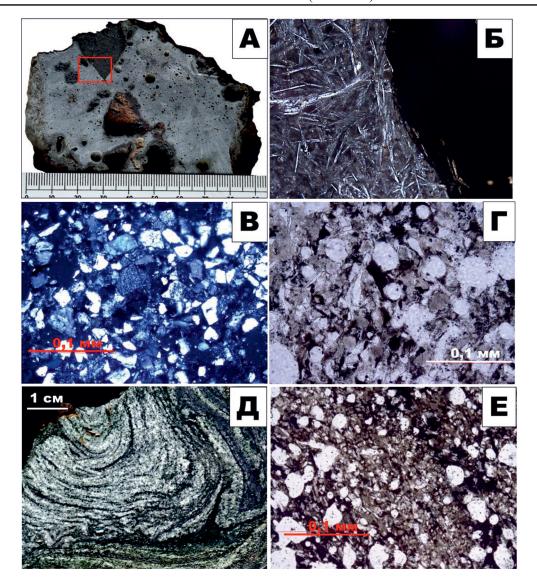


Рис. 3. Разновидности вулканических пород: А — Вариолитовый андезибазальт, обр. 1030/4; Б — То же, в контакте с обломком графитизированного угля, шлиф, ув. 100, николи х; В — Дацит жерловой фации, шлиф 1042/1, николи х; Г — Дацит лавовой фации, шлиф 1044/3, николи параллельны; Д — Волнистая лава правого борта Кангаласской террасы, обр. 1033/5: светлое — лава с кристаллитами, темное — обсидиан; Е — полосчатая лава дацитов, шлиф 1044/2, николи х

Дациты и риодациты наблюдаются в составе экструзии участка Молотовская падь и в коренных обнажениях в стенках карьеров участка Намцырский тракт. В первой преобладают дациты жерловой фации, в которых стекловатая — до фельзитовой основная масса переполнена кристаллами и обломками кристаллов (преобладают) полисинтетически сдвойникованного олигоклаз-андезина, пелитизированного санидина и кварца (рис. 3, В).

*Дациты лавовой фации* пузыристые до пенистых, с прихотливой формы выделени-

ями полевых шпатов и кварца в стекловатом до микрофельзитового матриксе, в котором развиты микрокристаллиты полевых шпатов и светлоокрашенного амфибола.

Полосчатые и волнистые лавы характеризуются чередованием светлых и темных полос мощностью 1–15 мм. Светлые полосы мелкопористые, с преобладанием кристаллической фазы (полевые шпаты, кварц) над стекловатым матриксом, раскристаллизованным в микрофельзитовый агрегат. Темные полосы в одних случаях представлены обсидианом (рис. 3, Г), в других – пу-

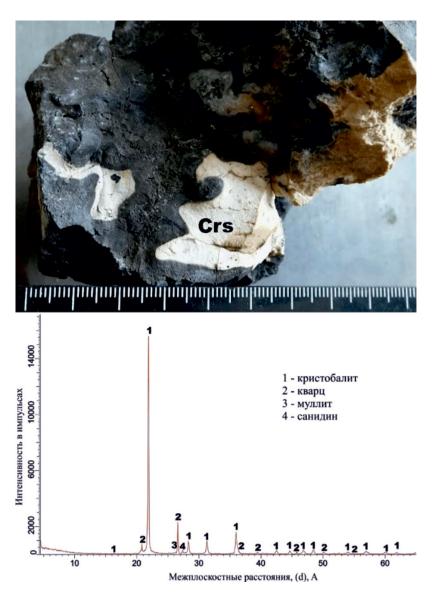
зыристым до пенистого риодацитом с более крупными, чем в светлых полосах, размерами пустот и преобладанием стекловатого гиалопилитового матрикса над кристаллической фазой (рис. 3, Д и Е). В первых присутствуют выклинивающиеся полоски и линзовидные обособления обсидиана. Образование полосчатых и волнистых лав характерно для лавовых потоков на склонах вулкана.

В пустотах андезитов были обнаружены скопления кристобалита (рис. 4). Образование кристобалита характерно для быстро остывших эффузивных пород, обычно тяготеет к верхним частям базаль-

товых, андезитовых и риолитовых лавовых сооружений и может занимать более 10% объема породы.

Кристобалит известен в эффузивах Сан-Кристобала (Мексика), Майна в Рейнланде (Германия), Иеллоустонском парке (США) и др. Присутствие минерала указывает на то, что состав и микроструктура лавовых куполов эволюционировали после извержения под воздействием газовой фазы [4–6].

По химическому составу среди изученных вулканических образований преобладают андезиты и дациты среднекалиевой, с отклонениями к высококалиевой известково-щелочной серии [7] (таблица, рис. 5).



Puc. 4. Кристобалит (светлое) заполняет пустоты в лаве и рентгенограмма светлой фазы образца (выполнена в ИГАБМ СО РАН на дифрактометре D2 PHASER фирмы Bruker, Германия; аналитик Т.И. Васильева)

Обр.	1033/3	1037/2	1042/2	1031/1	1031/2	1033/5	1044/2A	1044/4	1044/5	1030/4A	1030/8
SiO <sub>2</sub>	70,29	73,27	71,31	69,02	63,38	66,34	67,25	63,9	64,88	56,02	56,38
TiO <sub>2</sub>	0,9	0,12	0,15	0,16	0,14	1,03	0,84	0,92	0,7	0,69	0,16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,72	15,35	15,74	16,18	15,72	17,81	17	19,05	16,58	13,45	12,98
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,97	0,12	1,74	0,31	9,68	4,54	1,23	0,71	4,14	1,57	0,65
FeO	0,57	1,53	0,83	3,38	0,86	0,42	2,71	5,51	3,73	7,2	4,93
MnO	0,06	0,08	0,02	0,07	0,3	0,1	0,13	0,13	0,15	0,35	0,3
MgO	0,78	0,75	0,95	1,15	1,1	1,41	1,6	1,84	1,34	2,03	2,62
CaO	2,07	1,17	1,34	1,43	1,25	1,86	1,53	1,36	1,47	12,12	16,32
Na <sub>2</sub> O	3,06	3,19	3,36	3,2	2,77	2,52	3,06	2,3	2,94	1,9	2,16
K <sub>2</sub> O	2,88	3,56	3,72	3,44	3,24	2,94	3,41	3,61	3,44	2,05	2,05
H <sub>2</sub> O	0,78	0,04	0,12	0,18	0,12	0,42	0,12	0	0,1	0,48	0,14
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1,1	0,47	0,04	0,62	0,74	0	0,66	0,23	0	0,39	0,46
$P_2O_5$	0,35	0,12	0,13	0,28	0,21	0,42	0,28	0,22	0,24	0,14	0,07
CO <sub>2</sub>	0,44	0,23	0,26	0,09	0,13	0,22	0,31	0,38	0,23	0,27	0,2
S	0,12	0,01	0,02	0	0,04	0,03	0,04	0,1	0,06	0,35	0,3
Сумма	100,31	99,97	99,61	99,33	99,56	99,64	100,05	100,26	99,9	98,53	99,72
P, KÑan	7,9	6,7	7,9	9,2	10,7	11,6	10,7	14,2	11,2	10,5	10

Представительные химические анализы (в %) вулканических пород Кангаласской террасы и расчетные P – T параметры

Примечание. 1033/3, 1037/2, 1042/2 — туфы; 1031/1, 1031/2, 1035/5 — лавобрекчии; 1044/2А — лава; 1044/4 — туфолава с остатками флоры; 1044/5 — пемза; 1030/4А и 1030/8 — вариолитовые пузырчатые лавы. Химические анализы выполнены в лаборатории физико-химических методов анализа ИГАБМ СО РАН, аналитик Л.Т. Галенчикова. Расчет давления генерации расплава  $P_{\kappa \bar{\nu}_{\rm ap}}$  — по Беляеву [8]; Температура расплава  $T^{\circ}$ С — на основании модели Gerdes [9] и S. Jung, Pfander [10].

938

931

998

1005

1056

877

1014

798

835

841

937

T°C

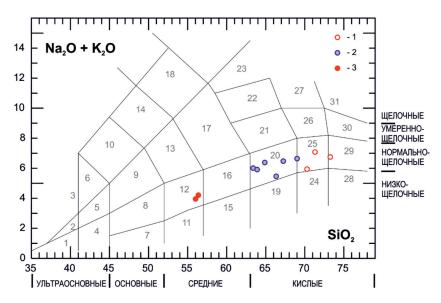


Рис. 5. Классификационная TAS-диаграмма сумма щелочей — кремнезем для классификации вулканических пород [11, 12]: 1 — туфы, 2 — лавы, пемзы, лавобрекчии, 3 — вариолиты. Поля: 1 — пикриты, 2 — ультращелочные пикриты, 3 — щелочные пикриты, 4 — ультраосновные пикробазальты, 5 — ультращелочные пикробазальты, 6 — щелочные пикробазальты, 7 — основные пикробазальты, 8 — базальты, 9 — трахибазальты, 10 — щелочные базальты, 11—12 — андезитобазальты, 13 — трахиандезитобазальты, 14 — фонотефриты, 15—16 — андезиты, 17 — трахиандезиты, 18 — тефрифонолиты, 19 — низкощелочные дациты, 20 — дациты, 21 — трахидациты, 22 — трахиты, 23 — щелочные трахиты, 24 — низкощелочные риодациты, 25 — риодациты, 26 — трахириодациты, 27 — пантеллериты, 28 — низкощелочные риолиты, 29 — риолиты, 30 — трахириолиты, 31 — комендиты

Расчеты по химическому составу пород по методикам [8–10] определяют давление при генерации андезитового расплава в 10–11,6 кбар, дацитового и риодацитового – 6,7–9,2 кбар при максимальной температуре расплавов соответственно  $1056\,^{\circ}\mathrm{C}$  и  $938\,^{\circ}\mathrm{C}$  (таблица).

### Практические рекомендации

Рассмотренные в данной работе породы Кангаласской террасы ранее детально не изучались, а красные туфы считались «горельниками», образовавшимися в результате сгорания углей и плавления вмещающих пород. Наши полевые наблюдения показали, что в местах развития описанных пород угольные пласты находятся в хорошей сохранности, более того, был зафиксирован факт брекчирования угольного пласта лавой, при этом уголь не сгорел (рис. 3, А). Петрографическое изучение пород показало, что на Кангаласской террасе развиты вулканогенные образования, аналоги которых были описаны нами ранее на Тюгенинской площади в 250 км к северо-западу [1–3]. На основании дешифрирования космических снимков мы полагаем, что подобные образования имеют широкий ареал распространения. Тем не менее споры о возможности проявления кремнекислого магматизма на территории Большого Якутска, да и Сибирской платформы в целом, не утихают и в настоящее время. Поэтому, решение этого вопроса принципиально для понимания истории геологического развития региона. Кроме того, известно, что с вулканогенными образованиями часто ассоциируют эпитермальные проявления различных металлов. По имеющимся предварительным данным, мы предполагаем благороднометалльную специализацию вулканических пород Кангаласской террасы, что требует проведения дальнейших детальных исследований.

### Заключение

Решена одна из дискуссионных проблем о природе красных туфов Кангаласской террасы левого берега р. Лена, которые ранее не изучались, но считались горельниками — продуктами плавления пород в результате сгорания углей. Установлено, что в пределах стратиграфических разрезов вулканические породы ассоциируют с пластами углей, иногда непосредственно контактируют с ними, при этом следов сгорания углей не выявлено. В красных пепловых туфах обнаружены остатки захороненной флоры

верхнеюрских папоротников, что косвенно указывает на возраст вулканического процесса. В целом эволюция магматизма района имеет гомодромную направленность: андезиты (покровы) — дациты, риодациты и риолиты (покровы и экструзии). В последующем планируется осветить специфику химических и геохимических составов вулканических образований и их рудоносность.

Авторы благодарны своим постоянным оппонентам М.Д. Томшину и А.В. Округину за содержательные дискуссии о невозможности проявления вулканизма на Лено-Вилюйском водоразделе, которые инициировали данное исследование.

Статья подготовлена по плану НИР ИГАБМ СО РАН, проект № 0381-2016-0004.

#### Список литературы

- 1. Костин А.В. Новый геологический объект вулканического происхождения на Лено-Вилюйском водоразделе (восток Сибирской Платформы) // Успехи современного естествознания. 2017. № 2. С. 100–105.
- 2. Костин А.В., Гриненко В.С., Трунилина В.А. и др. Тюгенинское вулканическое поле новый геологический объект востока Сибирской платформы // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы Всероссийской научно-практической конференции (6–8 апреля 2016 г). Якутск: Издательский дом СВФУ, 2016. С. 380–383.
- 3. Костин А.В., Гриненко В.С., Олейников О.Б. и др. Первые данные о проявлении верхнемелового вулканизма зоны перехода «Сибирская платформа Верхояно-Колымская складчатая область» // Наука и образование. 2015. № 1(77). С. 30–36.
- 4. Horwell C.J. et al. The nature and formation of cristobalite at the Soufrière Hills volcano, Montserrat: implications for the petrology and stability of silicic lava domes // Bulletin of Volcanology. 2013. T. 75. N $\!$ 2. C. 696.
- 5. Reich M. et al. Formation of cristobalite nanofibers during explosive volcanic eruptions // Geology. 2009. T. 37. № 5. C. 435–438.
- 6. Schipper C. I. et al. Cristobalite in the 2011–2012 Cordon Caulle eruption (Chile) // Bulletin of Volcanology.  $-2015.-T.\ 77.-N_{\rm 2}\ 5.-C.\ 34.$
- 7. Whiteford D.G., Nicholls I.A., Taylor S.R. Spatial variations in the geochemistry of quaterrary lavas across the Sunda arc in Java and Bali / Contribs. Mineral. And Petrol., 1979, v. 70. P. 341–356.
- 8. Беляев Г.М., Рудник В.А. Формационно-генетические типы гранитоидов. Л.: Недра, 1978.-168 с.
- 9. Gerdes A., Worner G., Henk A. Post-collisional granite generation and HT-LP metamorphism by radiogenic heating: the Variscan South Bohemian Batholith // J. Geol. Soc. London. 2000, v. 157. P. 577–587.
- 10. Jung S., Pfander J.A. Source composition and melting temperatures of orogenic granitoids constrains from CaO/Na $_2$ O, Al $_2$ O $_3$ /TiO $_2$  and accessory mineral saturation thermometry // Europen Journal of Mineralogy, 2007, № 1. P. 5–40.
- 11. Шарпенок Л.Н., Костин А.Е., Кухаренко Е.А. ТАЅдиаграмма сумма щелочей-кремнезем для химической классификации и диагностики плутонических пород // Региональная геология и металлогения. — 2013. — № 56. — С. 40—50.
- 12. Le Bas M. J. et al. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram // Journal of petrology. 1986. V. 27. Note 3. P. 745–750.

#### References

- 1. Kostin A.V. A new geological feature of volcanic origin in the Lena-Vilyui watershed (east of Siberian Platform) [Novyi geologicheskii obekt vulkanicheskogo proiskhozhdeniia na Leno-Viliuiskom vodorazdele (vostok Sibirskoi Platformy)]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia Progress of modern natural Sciences, 2017, no. 2, pp. 100–105.
- 2. Kostin A.V., Grinenko V.S., Trunilina V.A. i dr. Tiugeninskoe vulkanicheskoe pole novyi geologicheskii obekt vostoka Sibirskoi platformy [Tugeninskiy volcanic field new geological feature of the East Siberian platform]. Geologiia i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii (g. Iakutsk, 6–8 aprelia 2016 g.) [Proceedings of Geology and mineral resources of the North-East of Russia (Yakutsk, April 6–8, 2016)], Yakutsk, Izdatel'skii dom SVFU, 2016, pp. 380–383.
- 3. Kostin A.V., Grinenko V.S., Oleinikov O.B. i dr. The first data about the manifestation of the Upper Cretaceous volcanism of transition zone Siberian platform Verkhoyansk Kolyma folded area [Pervye dannye o proiavlenii verkhnemelovogo vulkanizma zony perekhoda Sibirskaia platforma Verkhoiano Kolymskaia skladchataia oblast']. Nauka i obrazovanie Science and education, 2015, no. 1, pp. 30–36.
- 4. Horwell C.J. et al. The nature and formation of cristobalite at the Soufriere Hills volcano, Montserrat: implications for the petrology and stability of silicic lava domes. Bulletin of Volcanology, 2013, vol. 75, no. 3, pp. 696.
- 5. Reich M. et al. Formation of cristobalite nanofibers during explosive volcanic eruptions. Geology, 2009, vol. 37, no. 5, pp. 435–438.

- 6. Schipper C.I. et al. Cristobalite in the 2011-2012 Cordon Caulle eruption (Chile). Bulletin of Volcanology, 2015, vol. 77, no. 5, pp. 34.
- 7. Whiteford D.G., Nicholls I.A, Taylor S.R. Spatial variations in the geochemistry of quaterrary lavas across the Sunda arc in Java and Bali. Contribs. Mineral. And Petrol, 1979, no. 70, pp. 341–356.
- 8. Beliaev G.M., Rudnik V.A. Formatsionno-geneticheskie tipy granitoidov [Formation-genetic types of granitoids]. Leningrad, Nedra, 1978, 168.
- 9. Gerdes A., Worner G., Henk A. Post-collisional granite generation and HT-LP metamorphism by radiogenic heating: the Variscan South Bohemian Batholith // J. Geol. Soc. London, 2000, v. 157. P. 577–587.
- 10. Jung S., Pfander J.A. Source composition and melting temperatures of orogenic granitoids constrains from CaO/Na<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> and accessory mineral saturation thermometry // Europen Journal of Mineralogy, 2007, no. 1. pp. 5–40.
- 11. Sharpenok L.N., Kostin A.E., Kukharenko E.A. TAS-diagram of total alkali-silica chemical classification and diagnosis of plutonic rocks [TAS-diagramma summa shchelochei-kremnezem dlia khimicheskoi klassifikatsii i diagnostiki plutonicheskikh porod ]. Regional'naia geologiia i metallogeniia Regional Geology and metallogeny, 2013, no. 56, pp. 40–50.
- 12. Le Bas M. J. et al. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram . Journal of petrology, 1986, vol. 27, no. 3, pp. 745–750.

УДК 528.9:911.2

# ГЕОСИСТЕМНОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ ПРИРОДНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА (НА ПРИМЕРЕ РЕГИОНОВ СЕВЕРНОЙ АЗИИ)

### Кузнецова Т.И.

ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы» СО РАН, Иркутск, e-mail: kuznetzova@irigs.irk.ru

Исследование выполнено в рамках создания регионального Атласа бассейна озера Байкал, территория которого целиком расположена в пределах внетропического пространства суши Северного полушария в границах двух суверенных государств – России и Монголии. В статье представлена методика создания ландшафтно-экологических карт для информационного обеспечения анализа факторов природного экологического риска (ЭР). Специфика исследования заключается в дальнейшем развитии геосистемного картографирования как основного варианта синтеза междисциплинарной географической информации о природной среде для получения новых знаний об объекте исследования. Рассмотрены наиболее важные аспекты решаемой проблемы: информационная база, методы картографирования, характеристики, критерии оценки факторов природного ЭР. Методология картографирования факторов природного ЭР связана с реализацией конструктивного подхода и концепции саморегулирования геосистем как сложного процесса, объединяющего все относящееся к их стабилизирующей динамике. Данная концепция предусматривает процесс рассмотрения природных свойств конкретной территории как сложное полисистемное исследование, позволяющее отразить не только объективно существующую ситуацию, но и прогнозируемую проблемную ситуацию, а также способы ее минимизации. В качестве информационной основы прогноза природного ЭР как возможных неблагоприятных изменений природной среды, возникающих в результате спонтанного развития или внешнего, в том числе антропогенного воздействия, используются знания о свойствах геосистем исследуемого региона. Эта проблематика связана с многоаспектным и многовариантным анализом текущего и будущего состояния геосистем, разработкой общих принципов их специализированных классификаций, а также региональных геосистемных признаков-индикаторов и способов отображения природных ЭР в легендах карт.

Ключевые слова: экологический риск, геосистемные индикаторы, саморегулирование, функционирование, классификация

# GEOSYSTEM MAPPING THE NATURAL ENVIRONMENTAL RISK FACTORS (AS EXEMPLIFIED BY THE NORTH ASIA REGIONS)

### Kuznetsova T.I.

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: kuznetzova@irigs.irk.ru

The study was carried out for creation of a regional Atlas of the Lake Baikal basin, the territory of which is entirely located within the extratropical space of the Northern Hemisphere land within the borders of two sovereign states - Russia and Mongolia. The paper presents a methodology for creating landscape-ecological maps implementing the information support for the analysis of natural environmental risk factors (ER). Specificity of the study is to develop geosystem mapping as the main variant of synthesis of interdisciplinary geographical information about the natural environment for obtaining new knowledge about the research object. The most important aspects of the solved problem are considered: information base, mapping methods, characteristics, criteria for estimating the factors of natural ER. The methodology of mapping the factors of natural ER is associated with the implementation of a constructive approach and a concept of self-regulation of geosystems, as a complex process that unites everything related to their stabilizing dynamics. This concept provides for the process of considering the natural properties of a particular territory as a complex polysystemic study that allows reflecting not only the objectively existing situation, but also the predicted problem situation, as well as ways to minimize it. As a basis for the forecast of natural ER as possible adverse changes in the natural environment arising as a result of spontaneous development or external, even anthropogenic, impact, we use knowledge of the properties of the geosystems in the region under investigation. This problem is connected with a multifaceted and multivariate analysis of the current and future state of geosystems, the development of general principles of their specialized classifications, as well as regional geosystemic indicators and methods for mapping natural ERs in the map legends.

Keywords: environmental risk, geosystem indicators, self-regulation, functioning, classification

С точки зрения природной составляющей экологический риск (ЭР) — это изменение ландшафта и его компонентов в результате внешнего, в том числе антропогенного воздействия. Обзорное картографирование факторов природного ЭР крупных регионов является актуальным в плане информационного обеспечения механизмов и рычагов межгосударственного, государственного,

регионального и подчиненного ему местного административного управления экологически сбалансированным устойчивым развитием единой территориальной системы.

Анализ литературных и картографических источников этой тематики показывает, что до настоящего времени отсутствует единая, отвечающая современному уровню требований, концепция обзорного картогра-

фирования природных факторов ЭР. Уже имеющаяся солидная картографическая база, созданная, как правило, на основе одноуровневых ландшафтных классификаций, не согласуется ни территориально, ни концептуально, а в качестве экологических индикаторов ЭР используются характеристики различных компонентов ландшафтов. Большое разнообразие покомпонентных классификаций ЭР создает определенные трудности при сопоставлении имеющейся картографической информации.

Для решения задач, касающихся принятия определенной стратегии развития крупных регионов и географического прогноза возможных отрицательных последствий принимаемых управленческих решений, необходимо создание специализированной картографической информационной системы (КИС) комплексного геосистемного экологического содержания. Анализ природных факторов ЭР не имеет смысла вне исследования сложных целостных природных систем – геосистем, потому как целое — больше суммы его частей. В этом плане особенно важно все, имеющее отношение к динамике геосистем.

Целью исследования является разработка концепции обзорного картографирования факторов природного ЭР, а именно: 1 — создание специализированной классификации геосистем, устанавливающей общий диапазон природных признаков-индикаторов ЭР и позволяющей упорядочить их соотношение посредством геосистемных типологических общностей; 2 — разработка методики создания и содержания обзорной КИС «Факторы природного экологического риска бассейна озера Байкал» геосистемного геоэкологического содержания.

### Материалы и методы исследования

Мелкомасштабное картографирование природного ЭР бассейна озера Байкал проводится с позиций конструктивного полисистемного подхода и основывается на многоуровневом многоаспектном, но в конечном счете едином исследовании ландшафтов. Новые задачи, связанные с разработкой научной концепции обзорного картографирования природного ЭР крупного региона на основе геосистемных принципов, требуют создания целереализующей специализированной классификации геосистем. Изменения геосистем, в силу их целостности, не могут быть познаны посредством суммирования результатов изменения отдельных компонентов. Поэтому необходимы природные факторы, определяющие закономерности и особенности изменения всей совокупности природных сочетаний, а именно геосистем.

Практически весь процесс исследования сосредотачивается на 1 — выявлении конкретной системы показателей свойств геосистем для индикации и качественной оценки природного ЭР; 2 — обеспечении доказательств надежности полученных результатов посредством совокупности множества используемых данных, взаимоувязанных в единую КИС «Факторы природного экологического риска бассейна озера Байкал».

Научную основу исследования составляют разработки ученых — последователей школы геосистемного картографирования академика В.Б. Сочавы: геосистемного картографирования доктора Т.И. Коноваловой [1], геоэкологического картографирования доктора А.Р. Батуева [2] и полисистемного картографирования доктора А.К. Черкашина [3].

В нашем случае используется геосистемный конструктивный подход как прикладной аспект исследования природной среды, обеспечивающий потенциальную возможность постановки задач картографирования как поиска неизвестных на данном уровне проработки географических явлений и закономерностей. Объектами исследования являются геосистемы бассейна озера Байкал регионального иерархического уровня, которые в тематическом плане с учетом биосоциальной сущности человека рассматриваются и как экологическая (природная) среда, и как среда обитания человека (биологического вида), и как ресурсная база его хозяйственной деятельности. Такой подход позволяет сформулировать новое более емкое содержание объекта исследования, которое отличается от такового в частных географических дисциплинах. Оно обеспечивает перевод ряда характеристик свойств геосистем в индикационные эколого-географические зависимости, позволяющие судить об экологических ситуациях в сравнении с географической информанией об объекте.

В геосистемных исследованиях бассейна озера Байкал природный ЭР рассматривается как «вероятность и степень опасности изменений в структуре и функционировании геосистем в результате внешнего воздействия или спонтанного развития» [4, с. 46]. Для исследования свойств геосистем — индикаторов ЭР — используется совокупность методов картографического подхода: геосистемного

анализа (структурного, структурно-иерархического, структурно-динамического, структурно-функционального, ценностного), геоэкологической индикации, а также методы идентификации, интерпретации и систематизации географической информационную систему КИС. Исходную информационную базу тематических данных составляют фундаментальные картографические произведения Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН [5].

# Результаты исследования и их обсуждение

Разработана система специализированных классификаций геосистем, отражающая взаимосвязи экологической среды, ресурсной среды и среды жизнедеятельности человека. Она явилась теоретической основой создания электронной КИС «Факторы природного экологического риска бассейна озера Байкал». Контур каждой выделенной геосистемы (рисунок) рассматривается как информационная ячейка сосредоточения информации о регионе, а вся тематическая нагрузка КИС представляет собой целостную проблемно-ориентированную систему формализованных легенд карт (подписи к рисунку разделы I-III), структурированных в систему таблиц. Их тематическое содержание отражает структуру геосистем и их дифференциацию по степени выраженности процесса саморегулирования как интегрального индикатора стабилизирующей динамики геосистем, свойства, зависящего от особенностей их структуры и функционирования.

Экологическая нагрузка КИС «Факторы природного экологического риска бассейна озера Байкал» является интерпретацией информации разработанной ранее базовой карты «Ландшафтно-экологические комплексы бассейна озера Байкал» [5, с. 69]. Была проведена целереализующая декомпозиция ее контурной основы и переработано тематическое содержание, что нашло свое отражение в первом разделе легенды КИС «Основные природные структуры». Согласно масштабу картографирования был установлен основной таксономический уровень исследования геосистем для индикации ЭР – подгруппы геомов, как наиболее полно отражающие экологические условия местоположений геосистем – и проведена географическая генерализация тематического научного содержания карты.

Наряду с этим в легенде производной карты имеются тематические разделы «Степень саморегулирования геосистем и его факторы», «Устойчивость геосистем», «Степень благоприятности природных условий для жизнедеятельности людей», «Предрасположенность геосистем к природному ЭР», «Рекомендуемые природоохранные режимы использования геосистем».

Система специализированных классификаций геосистем (фрагмент)

## І. Основные природные структуры

А. Североазиатские аркто-бореальные. 1. Геосистемы гольцово-таежные высокогорные восточно-сибирского типа (альпинотипные, местами субальпинотипные, гольцовые, подгольцовые, редколесные). 2. Геосистемы горнотаежные и таежные лиственничные байкало-джугджурские, горнотаежные темнохвойные южносибирские, лиственничные среднесибирские, лиственничные амуро-сахалинские (лиственнично-маревые, мерзлотно-болотные). 3. Геосистемы горнотаежные и таежные лиственничные байкало-джугджурские, горнотаежные темнохвойные южносибирские, горнотаежные светлохвойные южносибирские, среднетаежные лиственничные среднесибирские. 4. Геосистемы горнотаежные и таежные лиственничные байкало-джугджурские, горнотаежные и таежные темнохвойные южно-сибирские, южнотаежные среднесибирские, южнотаежные амуро-сахалинские, горнотаежные сосновые южно-сибирские.

- Б. Североазиатские семиаридные. 5. Геосистемы горные и подгорные подтаежные байкало-джугджурские, южносибирские, среднесибирские и амуро-сахалинские. 6. Геосистемы лугово-степные южно-сибирские, южнотаежные сосновые, сосновые и боровых равнин среднесибирские.
- В. Центрально-Азиатские аридные. 7. Геосистемы горностепные и степные разнотравно-дерновиннозлаковые и дерновинноразнотравные дауро-монгольские. 8. Геосистемы горностепные и степные дерновиннозлаковые дауро-монгольские.
- II. Степень саморегулирования геосистем и его факторы. Предрасположенность геосистем к природному ЭР
- 1. Саморегулирование максимально низкое ЭР максимально высокий (геосистемы экстремальных условий развития: очень холодных избыточно влажных местоположений, максимально чувствительные,

максимально неустойчивые, максимально неблагоприятные для жизнедеятельности людей). 2. Саморегулирование очень низкое – ЭР очень высокий (геосистемы редуцированных условий развития: холодных влажных местоположений, очень чувствительные, очень неустойчивые, очень неблагоприятные для жизнедеятельности людей). 3. Саморегулирование относительно низкое – ЭР относительно высокий (геосистемы редуцированных условий развития: умеренно холодных умеренно влажных местоположений, малочувствительные, относительно устойчивые, малоблагоприятные для жизнедеятельности людей). 4. Саморегулирование относительно высокое – ЭР относительно низкий (геосистемы оптимальных условий развития: теплых влажных малочувствительные, местоположений, устойчивые, относительно благоприятные для жизнедеятельности людей). 5. Саморегулирование высокое - ЭР низкий (геосистемы оптимальных условий развития: теплых недостаточно влажных местоположений, относительно малочувствительные, относительно устойчивые, наиболее благоприятные для жизнедеятельности людей). 6. Саморегулирование относительно высокое – ЭР относительно низкий (геосистемы оптимальных условий развития: очень теплых недостаточно влажных местоположений, относительно малоустойчивые, относительно чувствительные благоприятные для жизнедеятельности людей). 7. Саморегулирование низкое - ЭР высокий (геосистемы очень теплых очень сухих местоположений, чувствительные, неустойчивые, малоблагоприятные для жизнедеятельности людей. 8. Саморегулирование очень низкое - ЭР очень высокий (геосистемы жарких и очень сухих местоположений, очень чувствительные очень неустойчивые, малоблагоприятные для жизнедеятельности людей).

# III. Рекомендуемые природоохранные режимы использования геосистем

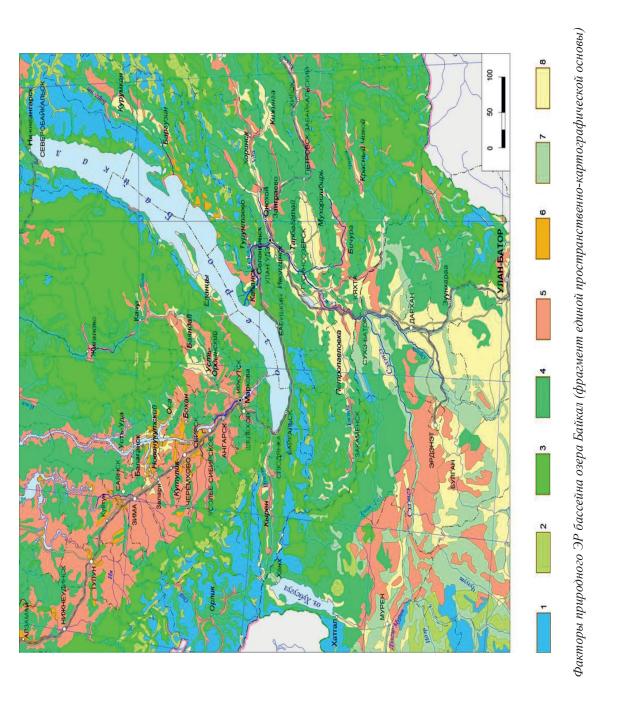
1. Строго защитный с предупреждающими природоохранными мерами в случае использования. 2. Эксплуатационно-защитный — специализированное использование с выделением защитных зон охраны природы для предупреждения возможного изменения структуры геосистем. 3. Защитно-эксплуатационный с объектно-покомпонентным использованием и последующим восстановлением используемых компонентов природы. 4. Эксплуа-

тационный с выделением природоохранных и восстановительных кедровых зон. 5. Эксплуатационный с выделением охранных зон и восстановлением используемых компонентов природы. 6. Защитно-эксплуатационный комбинированный с выделением природоохранных зон. 7. Эксплуатационно-защитный с восстановлением используемых компонентов в целях предотвращения усиления аридизации. 8. Защитный с предупреждающими мерами охраны природы в случае использования в целях предотвращения усиление аридизации.

Примечание. В разделах классификаций II. «Саморегулирование геосистем и его факторы». «Предрасположенность геосистем к природному ЭР» и III. «Рекомендуемые природоохранные мероприятия» арабскими цифрами обозначены природные структуры, представленные в разделе I классификации «Основные природные структуры».

Интегральным геосистемным индикатором ЭР, представленным в легенде КИС «Факторы природного экологического риска бассейна озера Байкал», является саморегулирование геосистем. Известно, что при всем естественном стремлении геосистем к изменению структуры в процессе самоорганизации всегда существует стабилизирующее их начало, которое обусловлено свойством саморегулирования, способствующим сохранению структуры геосистем во времени, несмотря на многочисленные воздействия [6]. В легенде карты отражены основные факторы саморегулирования геосистем (целостность, иерархичность, функционирование, динамика), научное определение которым было дано академиком В.Б. Сочавой. Эти факторы обеспечивают экологическое равновесие природной среды, что по своей сути представляет собой простейший вид управления, осуществляемый самой природой без какого-либо участия человека.

Способность к саморегулированию определяется экологическими условиями местоположений геосистем. Редуцированные геосистемы, для которых характерен недостаток тепла или избыток влаги, а также низкая биологическая продуктивность растительности, оказываются более чувствительными; при оптимальных экологических условиях местоположений геосистемы менее чувствительны к изменениям внешней среды и более устойчивы к внешнему воздействию [4] (см. подписи к рисунку, раздел II).



Саморегулирование геосистемы осуществляется до тех пор, пока сохраняется ее инвариантная структура, потому что в инварианте геосистемы отражается природный потенциал, определяющий все ее переменные состояния, индицирующие уравновешенность ее внешней и внутренней сред. На основе анализа степени отклонения внутри- и внешнеструктурных характеристик геосистем построены структурно-геомерные модели их экологической стабильности, или экологической устойчивости (см. подписи к рисунку, раздел II). Экологическая устойчивость индицирует возможности развития и восстановления геосистемы в случае внешнего воздействия. В случае значительного воздействия при условии низкой устойчивости существенно увеличивает вероятность изменения структуры геосистемы. В качестве спусковых механизмов саморегулирования геосистем выступают особенности природных режимов геосистем, характеристики которых представлены в легенде (лиственнично-маревые, мерзлотные, мерзлотно-болотные, ерниковые и пр.) (см. подписи к рисунку, раздел I).

### Заключение

В целом многоаспектная структура КИС «Факторы природного экологического риска бассейна озера Байкал» отражает последовательность многоступенчатой системы анализа геосистем. Единая специализированная система классификаций отражает расслоение геосистем по типам связей и позволяет отобразить самые разные тематические аспекты их характеристики при единой группировке пространственных данных. Подобная система классификаций обеспечивает решение практической задачи автоматизации процесса картографирования возможностями современных ГИС-технологий, так как в дальнейшем уже не требуется процедура анализа геосистем и выделения наиболее существенного из всей массы географического знания о них. Наряду с этим, КИС является необходимой информационной и теоретикометодической базой для дальнейшего совершенствования существующих и разработки новых методов анализа и оценки факторов природного ЭР крупных регионов.

Исследование выполнено в рамках тем Плана НИР Института географии

им. В.Б. Сочавы СО РАН «Геоинформационное картографирование и математическое моделирование географической среды в условиях глобализации и воздействия на природные и социально-экономические процессы в Сибири и на сопредельных территориях» (№ 0347-2016-0004).

#### Список литературы

- 1. Коновалова Т.И. Геосистемное картографирование / Т.И. Коновалова. Новосибирск: Акад. Изд-во «ГЕО», 2010.-186 с.
- 2. Батуев А.Р. Обоснование и картографирование территориальной структуры экологического каркаса региона / А.Р. Батуев, Д.А. Лопаткин // Известия Иркутского университета. Серия: Науки о Земле. 2008. Т. 1, № 1. С. 56–75.
- 3. Черкашин А.К. Теоретическая картография и теория создания оценочных карт природных рисков / А.К. Черкашин, Н.Е. Красноштанова // Геодезия и картография. 2011. № 3. С. 18—23.
- 4. Кузнецова Т.И. Геосистемные картографические интерпретации для информационного обеспечения управления экологическим риском Байкальского региона / Т.И. Кузнецова, В.М. Плюснин // Безопасность жизнедеятельности. 2014. № 2.— С. 43–49.
- 5. Экологический атлас бассейна оз. Байкал / ред. А.К. Тулохонов, В.М. Плюснин, С.В. Куделя. – Иркутск: изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. – 145 с.
- 6. Коновалова Т.И. Самоорганизация геосистем юга Средней Сибири / Т.И. Коновалова. Новосибирск: Акад. Изд-во «ГЕО», 2012. 148 с.

#### References

- 1. Konovalova T.I. Geosistemnoe kartografirovanie [Geosystems Mapping]. Novosibirsk, Akad. Izd-vo «GEO», 2010, 186.
- 2. Batuev A.R., Lopatkin D.A. Substantiation and Mapping of the Territorial Structure of the Ecological Framework of the Region [Obosnovanie i kartografirovanie territorial'noi struktury ekologicheskogo karkasa regiona ]. Izvestiia Irkutskogo universiteta. Seriia: Nauki o Zemle Izvestiya Irkutskogo Universiteta, Series: Earth Sciences, 2008, no. 1, pp. 56–75.
- 3. Cherkashin A.K., Krasnoshtanova N.E. Theoretical Cartography and Theory of Creating Estimating Maps of Natural Risks [Teoreticheskaia kartografiia i teoriia sozdaniia otsenochnykh kart prirodnykh riskov]. Geodeziia i kartografiia Geodesy and Cartography, 2011, no. 3, pp. 18–23.
- 4. Kuznetsova T.I., Pliusnin V.M. Geosystem Cartographic Interpretations for Information Support of Ecological Risk Management in the Baikal Region [Geosistemnye kartograficheskie interpretatsii dlia informatsionnogo obespecheniia upravleniia ekologicheskim riskom Baikal'skogo regiona]. Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti Bezopasnost Zhiznedeyatelnosti, 2014, no. 2, pp. 43-49.
- 5. Batuev A.R., Bessolitsyna E.P., Gagarinova O.V. i dr. Ekologicheskii atlas basseina oz. Baikal [Ecological Atlas of the Lake Basin. Baikal]. Irkutsk, izd-vo Instituta geografii im. V.B. Sochavy SO RAN, 2015, 145.
- 6. Konovalova T.I. Samoorganizatsiia geosistem iuga Srednei Sibiri [Self-Organization of Geosystems in the South of Central Siberia]. Novosibirsk, Akad. Izd-vo «GEO», 2012, 148.

УДК 553.411(571.65)

# МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ПРИРОДНЫХ (ЕСТЕСТВЕННЫХ) ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ГРАНАТ-МАГНЕТИТОВЫХ ШЛИХОВ ЮГО-ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАМЧАТКИ

### Кунгурова В.Е.

Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, Петропавловск-Камчатский, e-mail: biolab@kscnet.ru

Многочисленные поверхностные ореолы гранат-магнетитовых золотосодержащих природных (естественных) шлихов на пляже в юго-западной части Камчатского полуострова, на побережье Охотского моря, представлены прерывистыми струями шириной первые метры, длиной десятки – первые сотни метров, мощностью до 10 см. На поверхности пляжа происходит развитие до трех параллельных берегу зон природных шлихов, приуроченных к определенным элементам рельефа: к гребню штормового вала, ко второй аккумулятивной террасе, к основанию берегового уступа. Это средне-мелко-зернистые пески с небольшим содержанием гравийно-галечной составляющей. Проведен рентгенофазовый анализ (метод корундового числа) данных образований на порошковом рентгеновском дифрактометре Rigaku Ultima IV с целью определения их минерального состава. Высокая достоверность метода дает сведения о структуре вещества. Результаты исследований подтверждают, что многочисленные отложения этого типа могут являться не только источником извлечения драгоценного металла, но и титаномагнетита, концентрации которого в шлихах составляют 16,3-39,4%, гранатов - 7-13,1%, ильменита - до 7,7%. Наиболее обогащены полезными компонентами пляжи неполного профиля на абразионном участке берега, у основания берегового обрыва, особенно поверхностный гранат-магнетитовый шлих, мощность которого более 5 см и содержание золота составляет более 100 мг/м<sup>3</sup>. По результатам рентгенофлуоресцентного анализа на приборе EDX Pocket Series IV в этих пробах отмечены повышенные содержания ванадия. Все эти особенности следует учитывать в дальнейшем при разработке схем обогатимости технологических проб при извлечении золота из металлоносных осадков.

Ключевые слова: Юго-Западное побережье Камчатки, золото, природный (естественный) гранат-магнетитовый шлих, рентгенофазовый анализ, метод корундового числа

# MINERAL COMPOSITION OF NATURAL GOLD-CONTAINING GARNET-MAGNETITE SCHLICH OF THE SOUTH-WESTERN COAST OF KAMCHATKA

### Kungurova V.E.

Scientific research geotechnological centre Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, e-mail: biolab@kscnet.ru

Numerous surface halos of garnet-magnetite gold-containing natural schliches on the beach in the southwestern part of the Kamchatka Peninsula, on the coast of the Okhotsk Sea, are represented by broken lines with the width not more than 10 meters, with the length from tens to hundreds of meters, with the thickness up to 10 cm. The development of up to three zones of natural schliches parallel to the shore and associated with the certain relief elements: to the peak of the storm surge, to the second accumulative terrace, to the base of the sea cliff takes place on the surface of the beach. It is medium-fine-grained sands with a small content of gravel-pebble component. X-ray phase analysis (the method of corundum number) of these formations was carried out at X-ray powder diffractometer Rigaku Ultima IV to determine mineral composition of samples. High confidence of the metod gives information about the structure of substance. Numerous formations of this type can be not only a source of precious metal extraction, but as well as titanomagnetite which concentration in the schliches is 16.3-39.4%, garnets – 7-13.1% ilmenite – up to 7.7%. The beaches of the incomplete profile on the abrasive sections of the shore at the base of the coastal cliff are the most enriched with useful components. Especially this is a surface garnet-magnetite schlich which thickness is more than 5 cm and the gold content in it is more than 100 mg/m³. According to the results of X-ray fluorescence analysis at the EDX Pocket Series IV there are high concentrations of vanadium in these samples. All these features should be taken into account in future while developing the processing flowsheets of technological samples during extracting gold from metalliferous sediments.

Keywords: South-Western coast of Kamchatka, gold, natural garnet-magnetite schlich, X-ray phase analysis, corundum number method

В последние годы все больше внимания уделяется комплексным прибрежно-морским россыпям тяжелых металлов. В настоящее время в мире из них добывают золото, алмазы, ильменит, рутил, циркон, монацит, магнетит, хромит и другие полезные ископаемые [1, 2]. По значимости прибрежноморские россыпи стоят на втором месте

после аллювиальных. Разработки россыпей подобного рода расширяются, различные страны начинают осваивать эти богатства [3–7]. В конце 1960-х начале 1970-х гг. геологами Камчатского и Приморского территориальных геологических управлений, сотрудниками лаборатории обогащения золотых песков Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов, Всесоюзного научно-исследовательского института морской геологии и геофизики на шельфе Охотского моря и в его прибрежной части были проведены геологоразведочные и тематические исследования [8, 9], в результате которых вдоль западного побережья Камчатки установлена повсеместная золотоносность отложений, выделены перспективные участки. Эпизодически работы продолжались до 1983 г. Применение новых современных технологий позволяет сегодня решать проблемы, связанные с извлечением тонких классов золота, присутствующего в отложениях пляжа Западной Камчатки. В связи с этим в 1997–2000 гг., а затем в 2015 г. Научно-исследовательским геотехнологическим центром ДВО РАН были продолжены работы с целью уточнения перспектив освоения прибрежно-морских золотоносных образований [10, 11], с учетом применения новейших методов обогащения золотосодержащего материала. Немаловажное значение в качестве дополнительных источников добычи золота имеют расположенные вдоль всего побережья на поверхности пляжа гранат-магнетитовые золотосодержащие природные (естественные) шлихи, которые в случае добычи золота также могут быть использованы. В них присутствует, кроме золота, значительное количество титаномагнетита, ильменита, граната, которые могут попутно извлекаться в случае добычи благородного металла [10]. С целью получения более полной информации об их минеральном составе проведено изучение этих шлихов на качественно новом уровне, с использованием современной аналитической аппаратуры.

### Материалы и методы исследования

Исследован минеральный состав проб, отобранных в 2015 г. из поверхностных ореолов гранат-магнетитовых золотосодержащих природных (естественных) шлихов на пляже в юго-западной части Камчатки севернее мыса Левашова, на участках его максимального распространения — в приклифовой части пляжа (рис. 1–2).

Материал проб представляет собой средне-мелко-зернистые пески с небольшим содержанием гравийно-галечной составляющей (5–7% от всего объема). Количество исходного материала – 15 кг. Проба расситована, отобрана фракция менее 2 мм, затем отквартована методом кольца и конуса, истерта до размерности 0,080 мм.

Исследования проводились на высокоточном порошковом рентгеновском дифрактометре с горизонтальным закреплением образца Rigaku Ultima IV методом рентгеновской спектроскопии. В качестве подложки при съемке использовалась стеклянная кювета. Съемка дифрактограммы порошка проб проводилась с использованием D/tex детектора в диапазоне углов 20 10—100 град, со скоростью 1,0 град/мин. Режим съемки — стандартный [12].

Высокая достоверность метода дает сведения о структуре вещества. Идентификация кристаллических фаз в пробе производится по полученным параметрам элементарных ячеек, межплоскостных расстояний и относительным интенсивностям соответствующих линий на рентгенограмме. Анализ полученных спектров и расчет количественного минерального состава породы проводился методом корундового числа (RIR метод) с использованием программного комплекса PDXL-2 [13, 14].

# Результаты исследования и их обсуждение

Помимо собственно пляжевых золотоносных образований и золотосодержащих отложений подводного берегового склона, ценными являются многочисленные поверхностные золотосодержащие гранатмагнетитовые ореолы - природные шлихи, возникающие, как правило, на одних и тех же участках пляжа после сильных штормов. Расположены они на пляжах неполного профиля на абразионных участках берега. В поверхностном слое пляжа происходит развитие до трех параллельных зон природных (естественных) шлихов: первая у гребня штормового вала с минимальными размерами и малым содержанием золота; вторая приурочена ко второй аккумулятивной террасе; третья, наиболее продуктивная и крупная, располагается у основания берегового обрыва, клифа. Поверхностные ореолы представляют собой прерывистые струи шириной первые метры, длиной – десятки или первые сотни метров; мощность их колеблется от 1 до 10 см. Отдельные ореолы, расположенные у основания клифа, имеют ширину 3–4 м и достигают протяженности до 1800 м [8, 9], характеризуются постоянно высокими содержаниями полезных компонентов и являются наиболее перспективными на предмет извлечения полезных компонентов. Количество минералов тяжелой фракции достигает здесь 60-70% от всего объема пробы, а в отдельных случаях 85%.

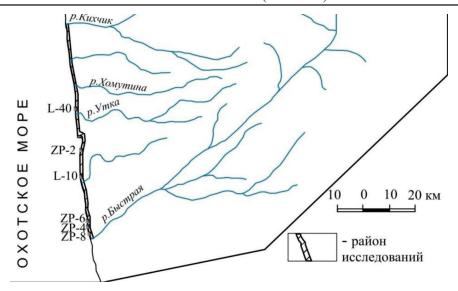


Рис. 1. Схематическая карта с точками отбора проб



Рис. 2. Место отбора пробы ZP-4 из природного (естественного) гранат-магнетитового шлиха, лежащего на поверхности глинистого плаща у основания берегового обрыва

Изучен минеральный состав этих естественных шлихов с содержаниями золота более 100 мг/м³, мощностью образований 5–10 см (пробы L-10, L-40, ZP-2) и с содержаниями золота менее 50 мг/м³ и мощностью 1–5 см (пробы ZP-4, ZP-6, ZP-8). Типоморфные особенности золота из отложений пляжа более подробно были освещены ранее в ряде работ [11, 15], и в данной статье приведены только содержания металла в анализируемых пробах и короткая характеристика обнаруженных в нем золотин. Проба варьирует в широ-

ких пределах (от низко- до высокопробного), что дает возможность предположить наличие разноформационных россыпеобразующих источников. Золото из этих шлихов хорошо окатанное, пластинчатой, уплощенной, чешуйчатой формы, размером 0,1-1 мм, толщиной до 0,1 мм. Оно перед анализом на приборе предварительно выбрано из проб; посчитано его количество в мг/м $^3$ .

Результаты качественного и количественного анализа минерального состава проб приведены в табл. 1.

 Таблица 1

 Минеральный состав проб из природных гранат-магнетитовых шлихов

 Юго-Западной Камчатки (по результатам анализа RIR методом)

титаномагиетит         Fe <sub>3.76</sub> Ti <sub>0.35</sub> O <sub>4</sub> 38,0 (3c.)         39,4 (3g.)         19,8 (3c.)         17,5 (3c.)         16,3 (3c.)         38,0 (3c.)         39,4 (3g.)         19,8 (3c.)         17,5 (3c.)         16,3 (3c.)         38,0 (3c.)         39,4 (3g.)         19,8 (3c.)         17,5 (3c.)         16,3 (3c.)         18,3 (3c.)         19,8 (3c.)         17,5 (3c.)         16,3 (3c.)         18,3 (3c.)         39,4 (3g.)         19,8 (3c.)         17,5 (3c.)         16,3 (3c.)         16,3 (3c.)         18,3 (3c.)         19,4 (3c.)         17,5 (3c.)         16,3 (3c.)         18,3 (3c.)         19,4 (3c.)         19,4 (3c.)         19,4 (3c.)         19,4 (3c.)         19,4 (3c.)         1,0 (3c.)         2,0 (3c.)         1,0 (3c.)         1,0 (3c.)         2,0 (3c.)         1,0 (3c.)         1,1 (3c.) <t< th=""><th>Минералы</th><th>Химическая формула</th><th></th><th></th><th>Номет</th><th>——— ра проб</th><th> 5</th><th></th></t<>	Минералы	Химическая формула			Номет	——— ра проб	 5	
титаномагнетит Fe <sub>2.28</sub> Ti <sub>0.5</sub> O <sub>4</sub> 38,0 32,1 39,4 19,8 17,5 16,3 магнезиоферрит (MgFe <sub>2</sub> )O <sub>4</sub> 21,6 12,8 10,0 2.2 6,7 7,8 ульвеншинель (Mg, Fe)(Cr, Al, Fe) <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 0,6 0,7 2,8 0,3 8,2 0,6 франклинит ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 0,5 0,7 2,8 0,3 0,7 0,2 0,4 кульсонит (Fe <sub>2</sub> V)O <sub>4</sub> 1,2 0,2 0,3 0,7 0,2 0,4 кульсонит (Fe <sub>2</sub> V)O <sub>4</sub> 1,2 0,2 0,2 1,0 1,0 1,0 магнезиохромит (Fe <sub>2</sub> V)O <sub>4</sub> 1,2 0,2 0,2 1,0 1,0 магнезиохромит (Fe <sub>2</sub> V)O <sub>4</sub> 1,2 0,2 0,2 1,0 1,0 магнезиохромит (Fe <sub>2</sub> V)O <sub>4</sub> 1,1 0,0 0,2 0,3 0,7 0,2 0,4 кульсонит (Fe <sub>2</sub> V)O <sub>4</sub> 1,2 0,2 0,2 1,0 1,0 магнезиохромит FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 0,5 − 0,8 − 0,6 − 0,0 0,1 0,2 0,1 0,1 0,1 0,1 0,1 0,1 0,1 0,1 0,1 0,1	1		L10				·	ZP8
титаномагнетит Fe <sub>225</sub> Ti <sub>023</sub> O <sub>4</sub> 38,0 32,1 39,4 19,8 17,5 16,3 магнезиоферрит (MgFe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 21,6 12,8 10,0 2,2 6,7 7,8 ульяешиниель (Mg, Fe)(Cr, Al, Fe) <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 0,6 0,7 2,8 0,3 8,2 0,6 франклинит ZлFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 0,6 0,7 2,8 0,3 0,7 0,2 0,4 кульсонит (Fe, V),О <sub>4</sub> 1,2 0,2 0,2 1,0 1,0 1,0 магнезиохромит (Fe, Mg)Cr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 0,5 − 0,8 − 0,6 − хромит FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> − 0,2 − − 0,0 − 0,1 кварц SiO <sub>2</sub> 7,1 3,8 3,5 31,0 20,0 26,1 съварц SiO <sub>2</sub> 7,1 3,8 3,5 31,0 20,0 26,1 съварц SiO <sub>2</sub> 0,3 0,2 1,1 − − − 1,2 альбит Na(AlSi <sub>4</sub> O <sub>3</sub> ) 1,0 7,8 2,7 6,2 − 0,2 т − 1,2 альбит Na(AlSi <sub>4</sub> O <sub>3</sub> ) 1,0 7,8 2,7 6,2 − 0,2 лабрадор Са <sub>0,08</sub> Na <sub>0,00</sub> (Λl <sub>1,06</sub> Si <sub>2,34</sub> O <sub>8</sub> ) 2,4 1,2 1,5 − − 1,2 анортит GaAl <sub>2</sub> SiO <sub>8</sub> 2,3 7,9 1,0 19,6 16,7 14,4 анортоклаз (Na <sub>0,28</sub> Ka <sub>0,20</sub> (Λl <sub>1,06</sub> Si <sub>2,34</sub> O <sub>8</sub> ) − − 1,6 − − 1,6 − − 3негатит Mg <sub>2</sub> SiO <sub>6</sub> 1,0 1,1 1,3 − 8,6 20,9 ортопироксен (Mg <sub>0,282</sub> Fe <sub>0,000</sub> (Mg <sub>0,282</sub> Fe <sub>0,000</sub> SiO <sub>6</sub> − − 1,5 − − 1,2 0,3 − 0,6 антит Ca(Mg,Fe)SiO <sub>6</sub> − − 1,5 − − 1,2 0,3 − 0,6 антит Ca(Mg,Fe)SiO <sub>6</sub> − − 1,6 0,9 5,8 0,6 0,4 пижопит (Mg,Fe,Ca) <sub>2</sub> SiO <sub>6</sub> − − 1,6 0,9 5,8 0,6 0,4 пижопит (Mg,Fe,Ca) <sub>2</sub> SiO <sub>6</sub> − − 1,6 0,9 5,8 0,6 0,4 пижопит (Mg,Fe,Ca) <sub>2</sub> SiO <sub>6</sub> − − 1,6 0,9 5,8 0,6 0,4 пижопит (Mg,Fe,Ca) <sub>2</sub> SiO <sub>6</sub> − − 1,6 0,9 5,8 0,6 0,4 пижопит (Mg,Fe,Ca) <sub>2</sub> SiO <sub>6</sub> − − 1,6 0,9 5,8 0,6 0,4 пижопит (Mg,Fe,Ca) <sub>2</sub> SiO <sub>6</sub> − − − 1,5 0,0 − − 0,5 − − 1,6 0,9 5,8 0,6 0,4 пижопит (Mg,Fe,Ca) <sub>2</sub> SiO <sub>6</sub> − − − 1,5 0,0 − − 0,5 − − 1,6 0,9 5,8 0,6 0,4 пижопит (Mg,Fe,Ca) <sub>2</sub> SiO <sub>6</sub> − − − 1,5 0,0 − − − 0,5 − − − 0,5 − − 1,6 0,9 5,8 0,6 0,4 пижопит (Mg,Fe,Ca) <sub>2</sub> SiO <sub>6</sub> − − − 1,6 0,9 5,8 0,6 0,4 пижопит (Mg,Fe,Ca) <sub>2</sub> SiO <sub>6</sub> − − − 1,6 0,9 5,8 0,6 0,4 пижопит (Mg,Fe,Ca) <sub>2</sub> SiO <sub>6</sub> − − − 1,6 0,9 5,8 0,6 0,4 0,4 пижопит (Mg,Fe,Ca) <sub>2</sub> SiO <sub>6</sub> − − − 1,6 0,9 5,8 0,6 0,4 0,4 пижопит (Mg,Fe,Ca) <sub>2</sub> SiO <sub>6</sub> − − − 0,5 − − 0,5 − − 0,5 − − 0,5 − − 0,5 − − 0,5 − − 0,5 − − 0,5 − − 0,5 − − 0,5 − − 0,5 − − 0,5 − − 0,5 − − − 0,5 − − 0,5 − − 0,5 − − − 0,5 − − − 0,5 − − − 0,5 − − − 0,5 − − − 0,5 − − − 0,5 − − − 0,5 − − − 0,5 − − − 0,5 − − − 0,5 − − − 0,5 − − − 0,5 − − − 0,5 − − − 0,5 − − − 0,5 − − − 0,5 − − − 0			COA	цержан	ИЯ 2	co	держа	НИЯ 2
магнезиоферрит (MgFe <sub>2</sub> )O <sub>4</sub> 21,6 12,8 10,0 2,2 6,7 7,8 ульвештинель (Mg, Fe)(Cr, AI, Fe) <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 0,6 0,7 2,8 0,3 8,2 0,6 франклинит ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 0,2 0,2 0,2 0,2 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0	THEOLIOMOPHOTHE	Fo Ti O						
ульвеншинель (Mg, Fe)(Cr, Al, Fe) 20 4 0,6 0,7 2,8 0,3 8,2 0,6 франклинит				-				
франклинит         ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 0,2         0,3         0,7         0,2         0,4           кульсонит         (Fe, V),O <sub>4</sub> 1,2         0,2         0,2         1,0         1,0           магнезиохромит         (Fe, Mg)Cr,O <sub>4</sub> 0,5         -         0,8         -         0,6         -           хромит         FeCr,O <sub>4</sub> -         0,2         -         -         -         -         0,6         -           хромит         FeCr,O <sub>4</sub> -         0,2         -         -         -         -         -         0,6         -           хромит         FeCr,O <sub>4</sub> -         0,2         -         -         -         -         0,0         2         -         -         -         0,0         2         2,1         1         -	1 11	2 .						
Кульсонит   (Fe, V) <sub>3</sub> O <sub>4</sub>   1,2   0,2   0,2   1,0   1,0     магнезиохромит   (Fe, Mg)Cr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>   0,5   - 0,8   - 0,6   -     хромит   FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>   - 0,2   -   -   0,1     кварц   SiO <sub>2</sub>   0,3   4,2   3,3   3,0   0,1   0,2     стишовит   SiO <sub>2</sub>   0,3   4,2   3,3   3,0   0,1   0,2     стишовит   SiO <sub>2</sub>   0,3   0,2   1,1   -   -     альбит   Na(AlSi <sub>1</sub> O <sub>8</sub> )   1,0   7,8   2,7   6,2   -   0,2     лабралор   Са <sub>0,88</sub> Na <sub>0,30</sub> (Al <sub>1,66</sub> Si <sub>2,4</sub> O <sub>8</sub> )   2,4   1,2   1,5   -   1,2     анортит   СаАl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>   2,3   7,9   1,0   19,6   16,7   14,4     анортоклаз   (Na <sub>0,28</sub> Ko <sub>0,28</sub> ) (AlSi <sub>1</sub> O <sub>9</sub> )   -   1,6   -   -     энстатит   Mg,Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>   1,0   1,1   1,3   - 8,6   20,9     ортопироксен   (Mg <sub>0,28</sub> Fe <sub>0,662</sub> ) (Mg <sub>0,98</sub> Fe <sub>0,668</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>   2,0   3,8   4,1   - 3,0   -     клинопироксен   Саfe(Si <sub>1</sub> O <sub>2</sub> )   -   1,5   -   2,3   2,2     диопсид   СамдSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>   -   1,6   0,9   5,8   0,6   0,4     пижонит   (Mg,Fe,Ca) <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>   1,5   1,3   -   3,8   2,2     геленбергит   СаFe(Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>   -   1,6   0,9   5,8   0,6   0,4     пижонит   (Mg <sub>0,24</sub> Ca <sub>0,258</sub> ) <sub>3</sub> Al <sub>3</sub> (SiO <sub>4</sub> )   1,1   1,6   1,4   -   1,7   -     альмандин   (Ca <sub>0,24</sub> Mg <sub>1,12</sub> Mn <sub>0,01</sub> Fe <sub>1,28</sub> Si <sub>1</sub> O <sub>12</sub>   -   -   -   0,5   -   -     альмандин   (Ca <sub>0,24</sub> Mg <sub>1,12</sub> Mn <sub>0,01</sub> Fe <sub>1,28</sub> Si <sub>1</sub> O <sub>12</sub>   -   -   -   0,2   1,6   1,8   0,7   -     спессартин   Mn,Al <sub>2</sub> Si <sub>1</sub> O <sub>12</sub>   1,0   0,4   2,4   -   1,6   1,0     биотит   К(Mg Fe) <sub>5</sub> (AlSi <sub>1</sub> O <sub>1</sub> O <sub>1</sub> O(H,F) <sub>2</sub>   -   -   -   3,7   -   0,3     ильменит   Fe(TiO <sub>1</sub> )   5,5   7,6   4,3   0,8   2,9   0,6     гейкилит магниевый   (Mn <sub>0,3</sub> Mg <sub>0,3</sub> )TiO <sub>3</sub>   2,8   1,0   1,8   0,1   -       рутил   ТіО <sub>2</sub>   1,9   1,0   1,1   -   0,1       сфен   СаТіSіО <sub>5</sub>   0,2   0,1   0,2   -   1,4   0,1     гематит   Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   -   2,5   -   0,5   -   1,1     пирон   Zr(SiO <sub>4</sub> )   -   0,1   -   0,2   -   -   0,5       насситерит   SnO <sub>2</sub>   0,1   -   0,2   -   -   -   0,1       ставролит   Аl <sub>4</sub> FeSi <sub>1</sub> O <sub>10</sub> O(OH) <sub>2</sub>   0,4   0,5   0,5   -   0,1   -			0,6					
магнезиохромит (Fe, Mg)Cr,O <sub>4</sub> 0,5 — 0,8 — 0,6 — хромит FeCr,O <sub>4</sub> — 0,2 — — 0,1 кварц SiO <sub>2</sub> 7,1 3,8 3,5 31,0 20,0 26,1 о-кварц SiO <sub>2</sub> 0,3 4,2 3,3 3,0 0,1 0,2 стишовит SiO <sub>2</sub> 0,3 4,2 3,3 3,0 0,1 0,2 стишовит SiO <sub>2</sub> 0,3 0,2 1,1 — — — альбит Na(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ) 1,0 7,8 2,7 6,2 — 0,2 лабралор Са <sub>0,68</sub> Na <sub>0,30</sub> (Al <sub>1,68</sub> Si <sub>2,4</sub> O <sub>8</sub> ) 2,4 1,2 1,5 — — 1,2 анортит СаАІ,Si,O <sub>8</sub> 2,3 7,9 1,0 19,6 16,7 14,4 анортоклаз (Na <sub>0,75</sub> K <sub>0,25</sub> )(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ) — — 1,6 — — — 3нстатит Мg,Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> 1,0 1,1 1,3 — 8,6 20,9 ортопироксен (Mg <sub>0,92</sub> Fe <sub>0,062</sub> )(Mg <sub>0,92</sub> Fe <sub>0,068</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> 2,0 3,8 4,1 — 3,0 — клинопироксен (Mg <sub>0,92</sub> Fe <sub>0,062</sub> )(Mg <sub>0,92</sub> Fe <sub>0,068</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> 2,0 3,8 4,1 — 3,0 — клинопироксен СаГе(Si <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) — — 1,2 0,3 — 0,6 авгит Са(Mg,Fe)Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> — — 1,5 — 2,3 2,2 гиопсид СаМдSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub> — 1,6 0,9 5,8 0,6 0,4 пижонит (Mg,Fe,Ca) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> 1,5 1,3 — — 3,8 2,2 геденбергит СаГе(Si <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) — — — 0,5 — — пироп (Mg <sub>0,92</sub> Ca <sub>0,288</sub> ) <sub>3</sub> Al <sub>3</sub> (SiO <sub>4</sub> ) 1,1 1,6 1,4 — 1,7 — альмандин (Ca <sub>0,24</sub> Mg <sub>1,12</sub> Mn <sub>0,04</sub> Fe <sub>1,59</sub> (Al <sub>1,59</sub> Cr <sub>0,01</sub> )Si <sub>2</sub> O <sub>1</sub> — 0,2 1,6 1,8 0,7 — спессартин Мп,Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>1</sub> 1,0 0,4 2,4 — 1,6 1,0 биотит К(Mg Fe) <sub>3</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>1</sub> 1,0 0,4 2,4 — 1,6 1,0 гейкилит магниевый (Mn <sub>0,8</sub> Mg <sub>0,9</sub> TiO <sub>3</sub> 2,8 1,0 1,8 0,1 — — 1,1 — 0,1 — рутил ТiO <sub>2</sub> 1,9 1,0 1,1 — 0,1 — рутил ТiO <sub>2</sub> 1,9 1,0 1,1 — 0,1 — пирон Сагізіо <sub>5</sub> 0,2 0,1 — 2,5 — 0,5 — 1,1 пирит Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 2,5 — 0,5 — 1,1 пирит Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 2,5 — 0,5 — 1,1 пирит Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 2,5 — 0,5 — 1,1 пирит Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 1,2 No <sub>2</sub> — 0,1 — 0,2 — — 0,5 — 1,1 пирит Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 1,2 No <sub>2</sub> — 0,1 — 0,2 — — 0,1 хризоберилл Аl <sub>2</sub> (ВеО <sub>4</sub> ) — 0,1 — 0,2 — — 0,1 хризоберилл Аl <sub>2</sub> (ВеО <sub>4</sub> ) — 0,1 — 0,2 — — 0,1 хризоберилл Аl <sub>2</sub> (ВеО <sub>4</sub> ) — 0,1 — 0,2 — — 0,1 хризоберилл Аl <sub>2</sub> (ВеО <sub>4</sub> ) — 0,1 — 0,2 — — 0,1 хризоберилл Аl <sub>2</sub> (ВеО <sub>4</sub> ) — 0,1 — 0,2 — — 0,1 — 0,2 — — 0,2 — 0,1 — 0,2 — — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,3 — 0,4 ¬ 0,1 — 0,2 — — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,3 — 0,4 ¬ 0,1 — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,2 — 0,3 — 0,4 ¬ 0,4 ¬ 0,4 ¬ 0,4 ¬ 0,4 ¬ 0,4 ¬	11	2 .	1.0				0,2	
хромит         FeCrO <sub>4</sub> -         0,2         -         -         0,1           кварц         SiO <sub>2</sub> 7,1         3,8         3,5         31,0         20,0         26,1           о-кварц         SiO <sub>2</sub> 0,3         4,2         3,3         3,0         0,1         0,2           стинювит         SiO <sub>2</sub> 0,3         0,2         1,1         -         -         -           альбит         Na(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )         0,3         0,2         1,1         -         -         -           лабранор         Ca <sub>0,68</sub> Na <sub>0,30</sub> (Al <sub>1,66</sub> Si <sub>2,34</sub> O <sub>8</sub> )         2,4         1,2         1,5         -         -         1,6         -         -         -         -         -         0,2         -         -         -         1,6         - <t< td=""><td></td><td></td><td></td><td>0,2</td><td></td><td>1,0</td><td>0.6</td><td>1,0</td></t<>				0,2		1,0	0.6	1,0
кварц         SiO₂         7,1         3,8         3,5         31,0         20,0         26,1           α-кварц         SiO₂         0,3         4,2         3,3         3,0         0,1         0,2           стишовит         SiO₂         0,3         0,2         1,1         -         -         -           альбит         Na(AlSi,O₂)         1,0         7,8         2,7         6,2         -         0,2           лабралор         Ca₀₀s Na₀₀₀(Al₁₀cSi₂,AlSiSi₂,A₀)         2,4         1,2         1,5         -         -         1,2           анортит         CaA₁,Si₂O₀         2,3         7,9         1,0         19,6         16,7         14,4           анортоклаз         (Na₀,xk₂,x)(AlSi₃O₂)         -         -         1,6         -         -         -         -         -         1,2         4         -         3,6         20,9         3,8         4,1         -         3,0         -         -         -         1,6         -         -         -         -         1,6         0         -         -         1,6         0         9         5,8         0,6         0,4           пинопироксен         CaFe(Si₂O₀) <td< td=""><td>магнезиохромит</td><td>2 7</td><td><u> </u></td><td>-</td><td></td><td>_</td><td>0,6</td><td>-</td></td<>	магнезиохромит	2 7	<u> </u>	-		_	0,6	-
α-кварц         SiO₂         0,3         4,2         3,3         3,0         0,1         0,2           стишовит         SiO₂         0,3         0,2         1,1         -         -         -           альбит         Na(AlSi₃O₂)         1,0         7,8         2,7         6,2         -         0,2           лабралор         Са₀ск Nа₀зы (Alысбізы О₂)         2,4         1,2         1,5         -         -         1,2           анортит         Саоды (Alысбізы О₂)         2,3         7,9         1,0         19,6         16,7         14,4           анортоклаз         (Nа₀зкоз (Alыб) О₂)         -         -         1,6         -         -         -         -         1,6         -         -         -         -         -         1,2         4,4         -         3,0         -         -         -         1,6         -         -         -         -         -         -         1,6         -         -         -         -         1,6         -         -         -         -         1,6         0.9         5,8         0,6         0,9         -         -         1,2         0,3         -         -         -	хромит					_	_	
Стишовит         SiO₂	кварц	2						
альбит Na(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ) 1,0 7,8 2,7 6,2 — 0,2  лабрадор Са <sub>0.08</sub> Na <sub>0.30</sub> (Al <sub>1.06</sub> Si <sub>2.34</sub> O <sub>8</sub> ) 2,4 1,2 1,5 — 1,2  анортит СаAl <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> 2,3 7,9 1,0 19,6 16,7 14,4  анортоклаз (Na <sub>0.78</sub> K <sub>0.28</sub> ) (AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ) — 1,0 1,1 1,3 — 8,6 20,9  энстатит Мg <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> 1,0 1,1 1,3 — 8,6 20,9  ортопироксен (Mg <sub>0.928</sub> Fe <sub>0.062</sub> ) (Mg <sub>0.892</sub> Fe <sub>0.088</sub> )Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> 2,0 3,8 4,1 — 3,0 —  клинопироксен СаFe(Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ) — 1,5 — 1,5 — 2,3 2,2  диопсид СаМgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub> — 1,6 0,9 5,8 0,6 0,4  пижонит (Mg,Fe,Ca) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> 1,5 1,3 — 3,8 2,2  геденбергит СаFe(Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ) — — 0,5 — — 3,8 2,2  геденбергит СаFe(Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ) — — 0,5 — — 1,7 — 1,7 — 1,7 — 1,1 1,6 1,4 — 1,7 — 1,7 — 1,7 — 1,1 1,6 1,4 — 1,7 — 1,7 — 1,7 — 1,1 1,6 1,4 — 1,7 — 1,7 — 1,1 1,6 1,4 — 1,7 — 1,7 — 1,1 1,7 — 1,1 1,7 1,7 — 1,1 1,1 1,1 1,1 1,1 1,1 1,1 1,1 1,1 1	α-кварц	2			3,3	3,0	0,1	0,2
лабрадор         Са <sub>0.68</sub> Nа <sub>0.30</sub> (Al <sub>1.66</sub> Si <sub>2.34</sub> O <sub>8</sub> )         2,4         1,2         1,5         −         −         1,2           анортит         СаАІ, Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> 2,3         7,9         1,0         19,6         16,7         14,4           анортоказ         (Na <sub>0.75</sub> K <sub>0.25</sub> )(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )         −         −         1,6         −         −           энстатит         Mg <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> 1,0         1,1         1,3         −         8,6         20,9           ортопироксен         (Mg <sub>0.928</sub> Fe <sub>0.062</sub> )(Mg <sub>0.892</sub> Fe <sub>0.088</sub> )Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> 2,0         3,8         4,1         −         3,0         −           клинопироксен         СаFe(Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )         −         −         1,5         −         2,3         2,2           диопсид         СаMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub> −         −         1,5         −         2,3         2,2           диопсид         СаMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub> −         −         1,6         0,9         5,8         0,6         0,4           пижонит         (Mg,Fe,Ca) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> 1,5         1,3         −         −         3,8         2,2           геденбергит         СаFe(Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )         −         −         −         0,5	стишовит	Z	0,3	0,2	1,1	_	_	_
анортит         CaAl_Si_Q_8         2,3         7,9         1,0         19,6         16,7         14,4           анортоклаз         (Na_075K_022)(AlSi_Q_8)         —         —         —         1,6         —         0,6         — <td< td=""><td>альбит</td><td>J 0</td><td>1,0</td><td>7,8</td><td>2,7</td><td>6,2</td><td>_</td><td>0,2</td></td<>	альбит	J 0	1,0	7,8	2,7	6,2	_	0,2
анортит         CaAl_Si_Q_8         2,3         7,9         1,0         19,6         16,7         14,4           анортоклаз         (Na_075K_022)(AlSi_Q_8)         —         —         —         1,6         —         0,6         — <td< td=""><td>лабрадор</td><td><math>Ca_{0.68}Na_{0.30}(Al_{1.66}Si_{2.34}O_8)</math></td><td>2,4</td><td>1,2</td><td>1,5</td><td>_</td><td>_</td><td>1,2</td></td<>	лабрадор	$Ca_{0.68}Na_{0.30}(Al_{1.66}Si_{2.34}O_8)$	2,4	1,2	1,5	_	_	1,2
энстатит	анортит		2,3	7,9	1,0	19,6	16,7	14,4
ортопироксен $(Mg_{0.928}Fe_{0.082})(Mg_{0.892}Fe_{0.088})Si_2O_6$ 2,0 3,8 4,1 — 3,0 — клинопироксен $CaFe(Si_2O_6)$ — — 1,2 0,3 — 0,6 авгит $Ca(Mg,Fe)Si_2O_6$ — — 1,5 — 2,3 2,2 Диопсид $CaMgSi_2O_6$ — — 1,6 0,9 5,8 0,6 0,4 пижонит $(Mg,Fe,Ca)_2Si_2O_6$ — 1,6 0,9 5,8 0,6 0,4 пижонит $(Mg,Fe,Ca)_2Si_2O_6$ — — — — 0,5 — — пироп $(Mg_0.742,Ca_{0.258})_3Al_2(SiO_4)_3$ — 1,1 1,6 1,4 — 1,7 — альмандин $(Ca_{0.24}Mg_{1.12}Mm_{0.04}Fe_{1.59})(Al_{1.99}Cr_{0.01})Si_3O_{12}$ 6,7 5,2 7,7 2,1 2,1 1,7 андрадит $Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$ — 0,2 1,6 1,8 0,7 — спессартин $Mn_3Al_2Si_3O_{12}$ — 0,2 1,6 1,8 0,7 — 0,3 ильменит $Fe(TiO_3)$ — 5,5 7,6 4,3 0,8 2,9 0,6 гейкилит магниевый $(Mn_{0.5}Mg_{0.5})TiO_3$ — 2,8 1,0 1,8 0,1 — — пирофанит $Mn_1(TiO_3)$ — — 1,1 — 0,1 — 0,1 — рутил $Mn_1(TiO_3)$ — 2,5 — 0,5 — 1,1 пирит $Fe_2O_3$ — 2,5 — 0,5 — 1,1 пирит $FeS_2$ — 0,5 — — 0,5 — 0,1 хризоберилл $Al_2(BeO_4)$ — 0,1 — 0,2 — — 0,2 — касситерит $SnO_2$ — 0,1 — 0,2 — — — 0,1 — 0,2 — — $Ca_1(BeO_4)$ — 0,1 — 0,2 — — $Ca_1(BeO_4)$ — 0,1 — 0,2 — — 0,1 хризоберилл $Al_4(FeSi_2O_{10}(OH)_2)$ — 0,4 0,5 0,5 — 0,1 —	анортоклаз	(Na <sub>0.75</sub> K <sub>0.25</sub> )(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	_	_	1,6	_	_	_
клинопироксен $CaFe(Si_2O_6)$ — — — — — — — — — — — — — — — — — — —	энстатит	$\mathrm{Mg_2Si_2O_6}$	1,0	1,1	1,3	_	8,6	20,9
клинопироксен $CaFe(Si_2O_6)$ — — — — — — — — — — — — — — — — — — —	ортопироксен	$(Mg_{0.928}Fe_{0.062})(Mg_{0.892}Fe_{0.088})Si_2O_6$		3,8	4,1	-	3,0	_
диопсид $CaMgSi_2O_6$ — 1,6 0,9 5,8 0,6 0,4 пижонит $(Mg,Fe,Ca)_2Si_2O_6$ 1,5 1,3 — 3,8 2,2 геденбергит $CaFe(Si_2O_6)$ — — — 0,5 — — пироп $(Mg_{0.742}Ca_{0.288})_3Al_2(SiO_4)_3$ 1,1 1,6 1,4 — 1,7 — альмандин $(Ca_{0.24}Mg_{1.12}Mn_{0.04}Fe_{1.59})(Al_{1.99}Cr_{0.01})Si_3O_{12}$ 6,7 5,2 7,7 2,1 2,1 1,7 андрадит $Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$ — 0,2 1,6 1,8 0,7 — спессартин $Mn_3Al_2Si_3O_{12}$ 1,0 0,4 2,4 — 1,6 1,0 биотит $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$ — — — 3,7 — 0,3 ильменит $Fe(TiO_3)$ 5,5 7,6 4,3 0,8 2,9 0,6 гейкилит магниевый $(Mn_{0.5}Mg_{0.5})TiO_3$ 2,8 1,0 1,8 0,1 — — пирофанит $Mn(TiO_3)$ — — 1,1 — 0,1 — рутил $TiO_2$ 1,9 1,0 1,1 — — 0,1 — рутил $TiO_2$ 1,9 1,0 1,1 — — 0,1 сфен $CaTiSiO_5$ 0,2 0,1 0,2 — 1,4 0,1 гематит $Fe_2O_3$ — 2,5 — 0,5 — 1,1 пирит $FeS_2$ 0,5 — — — 0,5 — циркон $Zr(SiO_4)$ — 0,4 0,1 — — 0,1 хризоберилл $Al_2(BeO_4)$ — 0,1 — 0,2 — — касситерит $SnO_2$ 0,1 — 0,2 — — — $Catabonut$ $SnO_2$ 0,1 — 0,2 — — — $Catabonut$ $SnO_2$ 0,1 — 0,2 — — — — $Catabonut$ $SnO_2$ 0,1 — 0,2 — — — — $Catabonut$ $SnO_2$ 0,1 — 0,2 — — — — $Catabonut$ $SnO_2$ 0,1 — 0,2 — — — — $Catabonut$ $SnO_2$ 0,1 — 0,2 — — — — $Catabonut$ $SnO_2$ 0,1 — 0,4 0,5 0,5 — 0,1 —	клинопироксен		_	_	1,2	0,3	_	0,6
пижонит $(Mg,Fe,Ca)_2Si_2O_6$ $1,5$ $1,3$ $  3,8$ $2,2$ геденбергит $CaFe(Si_2O_6)$ $   0,5$ $ -$ пироп $(Mg_{0,742}Ca_{0,258})_3Al_2(SiO_4)_3$ $1,1$ $1,6$ $1,4$ $ 1,7$ $-$ альмандин $(Ca_{0,24}Mg_{1,12}Mn_{0,04}Fe_{1,59})(Al_{1,99}Cr_{0,01})Si_3O_{12}$ $6,7$ $5,2$ $7,7$ $2,1$ $2,1$ $1,7$ андрадит $Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$ $ 0,2$ $1,6$ $1,8$ $0,7$ $-$ спессартин $Mn_3Al_2Si_3O_{12}$ $1,0$ $0,4$ $2,4$ $ 1,6$ $1,0$ биотит $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$ $   3,7$ $ 0,3$ ильменит $Fe(TiO_3)$ $5,5$ $7,6$ $4,3$ $0,8$ $2,9$ $0,6$ гейкилит магниевый $(Mn_{0,5}Mg_{0,5})TiO_3$ $2,8$ $1,0$ $1,8$ $0,1$ $ -$ пирофанит $Mn$ $(TiO_3)$ $  1,1$ $ 0,1$ $  0,1$ $         -$	авгит	Ca( Mg,Fe)Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	_	_	1,5	_	2,3	2,2
геденбергит $CaFe(Si_2O_6)$ — — — — 0,5 — — — пироп $(Mg_{0,74}Ca_{0.258})_3Al_2(SiO_4)_3$ — 1,1 — 1,6 — 1,7 — альмандин $(Ca_{0.24}Mg_{1.12}Mn_{0.04}Fe_{1.59})(Al_{1.99}Cr_{0.01})Si_3O_{12}$ — 0,2 — 1,6 — 1,8 — 0,7 — спессартин $Mn_3Al_2Si_3O_{12}$ — 0,2 — 1,6 — 1,6 — 1,0 — 0,3 — 0,3 ильменит $Fe(TiO_3)$ — 5,5 — — — 3,7 — 0,3 ильменит $Fe(TiO_3)$ — 5,5 — 7,6 — 4,3 — 0,8 — 2,9 — 0,6 — 1,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 — 0,1 — 0,1 — 1,1 — 0,1 —	диопсид	CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	_	1,6	0,9	5,8	0,6	0,4
пироп (Mg <sub>0.742</sub> Ca <sub>0.258</sub> ) <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> 1,1 1,6 1,4 - 1,7 - 1,7 - альмандин (Ca <sub>0.24</sub> Mg <sub>1.12</sub> Mn <sub>0.04</sub> Fe <sub>1.59</sub> )(Al <sub>1.99</sub> Cr <sub>0.01</sub> )Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub> 6,7 5,2 7,7 2,1 2,1 1,7 андрадит Са <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub> - 0,2 1,6 1,8 0,7 - спессартин Mn <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub> 1,0 0,4 2,4 - 1,6 1,0 биотит К(Mg Fe) <sub>3</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH, F) <sub>2</sub> 3,7 - 0,3 ильменит Fe(TiO <sub>3</sub> ) 5,5 7,6 4,3 0,8 2,9 0,6 гейкилит магниевый (Mn <sub>0.5</sub> Mg <sub>0.5</sub> )TiO <sub>3</sub> 2,8 1,0 1,8 0,1 пирофанит Мп (TiO <sub>3</sub> ) - 1,1 - 0,1 - рутил TiO <sub>2</sub> 1,9 1,0 1,1 0,1 - рутил TiO <sub>2</sub> 1,9 1,0 1,1 0,1 сфен СаТіSіО <sub>5</sub> 0,2 0,1 0,2 - 1,4 0,1 гематит Fes <sub>Q</sub> 0,5 0,5 - 1,1 пирит Fes <sub>Q</sub> 0,5 0,5 - 1,1 тирит Fes <sub>Q</sub> 0,5 0,4 0,1 0,1 хризоберилл Al <sub>2</sub> (BeO <sub>4</sub> ) - 0,1 - 0,2 0,5 - ставролит Al <sub>4</sub> Fesi <sub>2</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> 0,4 0,5 0,5 - 0,1 -	тиножип	(Mg,Fe,Ca) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	1,5	1,3	_	_	3,8	2,2
альмандин $(Ca_{0.24}  Mg_{1.12}  Mn_{0.04}  Fe_{1.59}) (Al_{1.99}  Cr_{0.01}) Si_3 O_{12}$ 6,7 5,2 7,7 2,1 2,1 1,7 андрадит $Ca_3 Fe_2  Si_3 O_{12}$ — 0,2 1,6 1,8 0,7 — спессартин $Mn_3 Al_2 Si_3 O_{12}$ 1,0 0,4 2,4 — 1,6 1,0 биотит $K(Mg, Fe)_3 (AlSi_3 O_{10}) (OH, F)_2$ — — 3,7 — 0,3 ильменит $Fe(TiO_3)$ 5,5 7,6 4,3 0,8 2,9 0,6 гейкилит магниевый $(Mn_{0.5}  Mg_{0.5}) TiO_3$ 2,8 1,0 1,8 0,1 — — пирофанит $Mn  (TiO_3)$ — — 1,1 — 0,1 — рутил $TiO_2$ 1,9 1,0 1,1 — — 0,1 сфен $CaTiSiO_5$ 0,2 0,1 0,2 — 1,4 0,1 гематит $Fe_2O_3$ — 2,5 — 0,5 — 1,1 Пирит $FeS_2$ 0,5 — — 0,5 — циркон $Zr  (SiO_4)$ — 0,4 0,1 — — 0,1 — 0,1 хризоберилл $Al_2  (BeO_4)$ — 0,1 — 0,2 — — ставролит $Al_4 FeSi_2O_{10}  (OH)_2$ 0,4 0,5 0,5 — 0,1 —	геденбергит	v	_	_	_	0,5	_	_
альмандин $(Ca_{0.24}  Mg_{1.12}  Mn_{0.04}  Fe_{1.59}) (Al_{1.99}  Cr_{0.01}) Si_3 O_{12}$ 6,7 5,2 7,7 2,1 2,1 1,7 андрадит $Ca_3 Fe_2  Si_3 O_{12}$ — 0,2 1,6 1,8 0,7 — спессартин $Mn_3 Al_2 Si_3 O_{12}$ 1,0 0,4 2,4 — 1,6 1,0 биотит $K(Mg, Fe)_3 (AlSi_3 O_{10}) (OH, F)_2$ — — 3,7 — 0,3 ильменит $Fe(TiO_3)$ 5,5 7,6 4,3 0,8 2,9 0,6 гейкилит магниевый $(Mn_{0.5}  Mg_{0.5}) TiO_3$ 2,8 1,0 1,8 0,1 — — пирофанит $Mn  (TiO_3)$ — — 1,1 — 0,1 — рутил $TiO_2$ 1,9 1,0 1,1 — — 0,1 сфен $CaTiSiO_5$ 0,2 0,1 0,2 — 1,4 0,1 гематит $Fe_2O_3$ — 2,5 — 0,5 — 1,1 Пирит $FeS_2$ 0,5 — — 0,5 — циркон $Zr  (SiO_4)$ — 0,4 0,1 — — 0,1 — 0,1 хризоберилл $Al_2  (BeO_4)$ — 0,1 — 0,2 — — ставролит $Al_4 FeSi_2O_{10}  (OH)_2$ 0,4 0,5 0,5 — 0,1 —	пироп	$(Mg_{0.742}Ca_{0.258})_3Al_2(SiO_4)_3$	1,1	1,6	1,4	_	1,7	_
андрадит $Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$ — 0,2 1,6 1,8 0,7 — Спессартин $Mn_3Al_2Si_3O_{12}$ 1,0 0,4 2,4 — 1,6 1,0 биотит $K(Mg_1Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$ — — — 3,7 — 0,3 ильменит $Fe(TiO_3)$ 5,5 7,6 4,3 0,8 2,9 0,6 гейкилит магниевый $(Mn_{0.5}Mg_{0.5})TiO_3$ 2,8 1,0 1,8 0,1 — — пирофанит $Mn(TiO_3)$ — — 1,1 — 0,1 — рутил $TiO_2$ 1,9 1,0 1,1 — — 0,1 — о,1 сфен $CaTiSiO_5$ 0,2 0,1 0,2 — 1,4 0,1 гематит $Fe_2O_3$ — 2,5 — 0,5 — 1,1 пирит $FeS_2$ 0,5 — — — 0,5 — пиркон $Zr(SiO_4)$ — 0,4 0,1 — — 0,1 хризоберилл $Al_2(BeO_4)$ — 0,1 — 0,2 — касситерит $SnO_2$ 0,1 — 0,2 — — — Ставролит $Al_4FeSi_2O_{10}(OH)_2$ 0,4 0,5 0,5 — 0,1 —	альмандин		6,7	5,2	7,7	2,1	2,1	1,7
спессартин $Mn_3Al_2Si_3O_{12}$ 1,0 0,4 2,4 — 1,6 1,0 биотит $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$ — — — 3,7 — 0,3 ильменит $Fe(TiO_3)$ 5,5 7,6 4,3 0,8 2,9 0,6 гейкилит магниевый $(Mn_{0.5}Mg_{0.5})TiO_3$ 2,8 1,0 1,8 0,1 — — пирофанит $Mn(TiO_3)$ — — 1,1 — 0,1 — рутил $TiO_2$ 1,9 1,0 1,1 — — 0,1 — о,1 сфен $CaTiSiO_5$ 0,2 0,1 0,2 — 1,4 0,1 гематит $Fe_2O_3$ — 2,5 — 0,5 — 1,1 пирит $FeS_2$ 0,5 — — — 0,5 — циркон $Zr(SiO_4)$ — 0,4 0,1 — — 0,1 хризоберилл $Al_2(BeO_4)$ — 0,1 — 0,2 — касситерит $SnO_2$ 0,1 — 0,2 — — — Ставролит $Al_4FeSi_2O_{10}(OH)_2$ 0,4 0,5 0,5 — 0,1 —	андрадит		_	0,2	1,6	1,8	0,7	_
биотит $K(Mg, Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH, F)_2$ — — — — — 3,7 — 0,3 ильменит $Fe(TiO_3)$ — 5,5 7,6 4,3 0,8 2,9 0,6 гейкилит магниевый $(Mn_{0.5}Mg_{0.5})TiO_3$ — 2,8 1,0 1,8 0,1 — — пирофанит $Mn(TiO_3)$ — — 1,1 — 0,1 — рутил $TiO_2$ — 1,9 1,0 1,1 — — 0,1 — 0,1 сфен $CaTiSiO_5$ — 0,2 0,1 0,2 — 1,4 0,1 гематит $Fe_2O_3$ — — 2,5 — 0,5 — 1,1 пирит $FeS_2$ — 0,5 — — — 0,5 — циркон $Zr(SiO_4)$ — 0,4 0,1 — — 0,1 хризоберилл $Al_2(BeO_4)$ — 0,1 — 0,2 — — касситерит $SnO_2$ — 0,1 — 0,2 — — — Ставролит $Al_4FeSi_2O_{10}(OH)_2$ — 0,4 0,5 0,5 — 0,1 —	спессартин	3 2 3 12	1,0	0,4	2,4	_	1,6	1,0
ильменит $Fe(TiO_3)$ $5,5$ $7,6$ $4,3$ $0,8$ $2,9$ $0,6$ $1,0$	биотит		_	_	_	3,7	_	0,3
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	ильменит		5,5	7,6	4,3	0,8	2,9	0,6
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	гейкилит магниевый	$(Mn_{0.5}Mg_{0.5})TiO_3$	2,8	1,0	1,8	0,1	_	_
ругил $\operatorname{TiO}_2$ 1,9 1,0 1,1 — 0,1 $\operatorname{cdeh}$ $\operatorname{CaTiSiO}_5$ 0,2 0,1 0,2 — 1,4 0,1 $\operatorname{Fe_2O}_3$ — 2,5 — 0,5 — 1,1 $\operatorname{пирит}$ $\operatorname{Fe_2O}_3$ — 0,5 — 0,5 — 1,1 $\operatorname{пирит}$ $\operatorname{FeS}_2$ 0,5 — 0,4 0,1 — 0,1 $\operatorname{сdeh}$ $\operatorname{Zr}\left(\operatorname{SiO}_4\right)$ — 0,4 0,1 — 0,1 $\operatorname{сdeh}$ $\operatorname{Zpusogepull}$ $\operatorname{Al}_2(\operatorname{BeO}_4)$ — 0,1 — 0,2 — $\operatorname{caccuteput}$ $\operatorname{SnO}_2$ 0,1 — 0,2 — — $\operatorname{caccuteput}$ $\operatorname{SnO}_2$ 0,4 0,5 0,5 — 0,1 —	пирофанит		_	_	1,1	_	0,1	_
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$		3	1,9	1,0		_	_	0,1
гематит $Fe_2O_3$ — $2,5$ — $0,5$ — $1,1$ пирит $FeS_2$ $0,5$ —         — $0,5$ —         — $0,5$ —         — $0,5$ —         — $0,5$ —         — $0,1$ — $0,1$ — $0,1$ — $0,1$ — $0,2$ —         —		-		0,1		_	1,4	
пирит $FeS_2$ $0,5$ $  0,5$ $-$ циркон $Zr(SiO_4)$ $ 0,4$ $0,1$ $ 0,1$ хризоберилл $Al_2(BeO_4)$ $ 0,1$ $ 0,2$ $-$ касситерит $SnO_2$ $0,1$ $ 0,2$ $ -$ ставролит $Al_4FeSi_2O_{10}(OH)_2$ $0,4$ $0,5$ $0,5$ $ 0,1$ $-$	-	5				0,5	_	
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$							0,5	
хризоберилл $Al_2(BeO_4)$ — $0,1$ — $0,2$ — касситерит $SnO_2$ $0,1$ — $0,2$ — — $0,2$ — — ставролит $Al_4FeSi_2O_{10}(OH)_2$ $0,4$ $0,5$ $0,5$ — $0,1$ —						_	_	
касситерит $SnO_2$ $0,1$ $ 0,2$ $  -$ ставролит $Al_4FeSi_2O_{10}(OH)_2$ $0,4$ $0,5$ $0,5$ $ 0,1$ $-$	_	•				_	0,2	_
ставролит $Al_4FeSi_2O_{10}(OH)_2$ 0,4 0,5 0,5 - 0,1 -	1 1	2 7				_	_	_
		-				_	0.1	_
	эпидот	$Ca_{2}(Al,Fe)_{3}(Si_{2}O_{7})(SiO_{4})O(OH)$	-	0,3	0,4	0,6	0,4	0,4

Примечание. Приведены химические формулы из базы данных [13, 14].

В целом преобладающими в природных шлихах, образованных на поверхности пляжей, являются минералы ряда магнетита (24–61,4%): титаномагнетит, магнезиоферрит, франклинит, ульвошпинель, кульсонит (ванадиевый магнетит). В незначительных количествах присутствует хромит, магнезиохромит (магниевый аналог хромита). Между магнетитом и хромитом и между шпинелью и хромитом существует непрерывный изоморфный ряд, поэтому химический состав их непостоянен и в шлихах встречено такое разнообразие минералов группы магнетит – хромит.

Широко представлены также: кварц (7,6–34,0%) различных модификаций (высоко- и низкотемпературный); плагиоклазы альбит-анортитового ряда (5,2–25,8%); пироксены ромбические (3,0–20,9%): энстатит, ортопироксен и моноклинные (1,5–6,6%): клиноэнстатит, клинопироксен, авгит, диопсид, пижонит, геденбергит.

Из минералов группы ильменита идентифицированы ромбоэдрические ильменит (до 7,6%), гейкилит (до 2,8%), пирофанит (до 1,1%). Присутствуют рутил (до 1,9%), сфен (до 1,4%).

Разнообразно представлены гранаты: (2,7-13,1%) альмандин, пироп, андрадит, спессартин, с количественно преобладающим альмандином -1,7-7,7%.

Присутствуют в шлихах гематит, пирит, ставролит, биотит, эпидот. В количестве менее 0,5% встречены циркон, касситерит, хризоберилл.

Выявленный в поверхностных отложениях пляжа спектр основных и второстепенных минералов (табл. 1) свидетельствует о том, что источниками, их питающими,

являются породы весьма различного генезиса: магматические, метаморфические, гидротермальные, контактово-метасоматические. Одним из главных показателей их концентрации в отложениях пляжа является их высокая устойчивость к выветриванию.

Пробы L-10, L-40, ZP-2 отличаются от проб ZP-4, ZP-6, ZP-8 не только по содержаниям в них золота (более 100 мг/м³ и менее 50 мг/м³ соответственно) и мощности образований, но и большими, превышающими в 2 раза, концентрациями титаномагнетита (32,1–39,4% против 16,3–19,8%). Суммарное количество минералов группы гранатов составляет здесь 7,3–13,1% против 2,7–6,1% соответственно. При этом наибольшее присутствие и разнообразие гранатов отмечается в пробе L-40, отобранной из естественного шлиха на пляже к северу от устья р. Утка.

По качественному составу основных породообразующих минералов (кварц, полевые шпаты, пироксены) исследуемые пробы идентичны. Изменяются лишь количественные соотношения. Севернее р. Быстрая, в маломощных образованиях естественного шлиха (пробы ZP-4, ZP-6, ZP-8), увеличиваются содержания кварца (до 32% в ZP-4), плагиоклазов (до 26,4% в ZP-4).

По результатам рентгенофлуоресцентного анализа на приборе EDX Pocket Series IV (оператор С.В. Паламарь) определены содержания некоторых элементов (табл. 2). Повышенные содержания титана и ванадия отмечаются в пробах, в минеральном составе которых значительные содержания титаномагнетита и ильменита. Ванадий концентрируется в магнетите, изоморфно замещая железо, поскольку радиусы ионов близки.

 Таблица 2

 Содержания некоторых элементов в естественных гранат-магнетитовых шлихах Юго-Западной Камчатки

Элементы		Сод	цержания элем	ентов в проба	x, %	
	L-10	ZP-2	L-40	ZP-4	ZP-6	ZP-8
Ca	4,2	4	3,9	3,6	4,7	4,2
Co	1,89	1,1	0,14	0,32	0,9	0,7
Fe	65,6	37,5	51,9	10,78	31,4	23,3
K	0,6	0,3	1,9	1,6	0,6	1,3
Mn	0,38	0,33	0,3	0,17	0,29	0,23
Ni	0,08	0,03	0,06	0	0,02	0,007
Pb	0,0003	0	0,0001	0	0	0
Sr	0,0036	0,0035	0,0054	0,017	0,009	0,015
Ti	12,1	17,5	9,4	1,5	4,8	3,5
V	0,26	0,2	0,2	0,003	0,08	0,04
Zn	0,03	0,012	0,019	0,007	0,015	0,015

### Выводы

Проведенный комплекс исследований по определению количественного и качественного анализа проб из природных золотосодержащих гранат-магнетитовых шлихов, формирующихся на поверхности пляжа Юго-Западной Камчатки, свидетельствует о том, что многочисленные образования этого типа могут быть использованы в качестве дополнительных источников при разработке золотосодержащих песков на пляже и шельфе. Из них возможно извлечение не только драгоценного металла, но и титаномагнетита, ильменита, граната, содержание которых в шлихах достигает весомых значений (16,3-39,4%; 7-13,1%; 1,7-7,7% соответственно). Наиболее обогащены полезными компонентами участки пляжа неполного профиля на абразионном участке берега, особенно поверхностный гранат-магнетитовый шлих, мощность которого более 5 см (L-10, L-40, ZP-2). Coдержание золота в нем составляет более 100 мг/м<sup>3</sup>. В этих шлихах обнаружены повышенные количества ванадия и более трети от количества всех минералов составляет титаномагнетит.

В дальнейшем при исследовании обогатимости технологических проб по извлечению золота из металлоносных осадков следует учитывать возможности одновременного с ним извлечения из поверхностных шлихов титаномагнетита, граната, ильменита.

#### Список литературы

- 1. Патык-Кара Н.Г. Минерагения россыпей: типы россыпных провинций / Н.Г. Патык-Кара. М.: Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, 2008. 526 с.
- 2. Лаломов А.В. Россыпи Российской Арктики и перспективы их отработки / А.В. Лаломов // Минералогия. 2017. № 2. С. 30—42.
- 3. Garnett R.H.T., Basset N.G. Placer Deposits // Economic Geology. 2005. No 100<sup>th</sup> Anniversary Volume, pp. 813–843.
- 4. Lalomov A., Grigorieva A. Development of technology of micropaleofacial analysis foroptimization of geological exploration on Ti-Zr placer deposits / 18-th International Sedimentological Congress. Mendosa, Argentina, 2010. pp. 523.
- 5. Patyk-Kara N., Ivanova A. Placer minerageny of the North-Western Pacific continental margin / Proceedings of the INTERIM IAGOD Conference. September 1–20. Vladivostok, Dalnauka, 2004, pp. 701–703.
- 6. Быховский Л.З., Спорыкина Л.В. Россыпные месторождения в сырьевой базе и добыче полезных ископаемых / Л.З. Быховский // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. -2013. -№ 6. C. 6-17.
- 7. Лаломов А.В., Таболич С.Э. Локальные геолого-динамические факторы формирования комплексных прибрежно-морских россыпей тяжелых металлов / А.В. Лаломов. М.: ГЕОС, 2013. 224 с.
- 8. Бондаренко И.В., Хитров В.В. и др. Отчет Камчатской партии о результатах общепоисковых и детально-поисковых работ на россыпи шельфа южной части

- западного побережья Камчатки за 1976—1978 гг. Петропавловск-Камчатский: Фонды ВГФ, ТГФ, ПТГУ, 1979. В 2-х кн.: 140 + 256 с.
- 9. Наумов Ю.А. Условия формирования прибрежноморских россыпей Юго-Западной Камчатки / Ю.А. Наумов. – Находка: НОУ ВПО Институт технологии и бизнеса, 2012. – 116 с.
- 10. Кунгурова В.Е. Перспективы освоения прибрежно-морских золотоносных россыпей западного побережья Камчатки / В.Е. Кунгурова // Горно-информационный аналитический бюллетень. Камчатка. Специальный выпуск. М.: Изд-во «Горная книга». 2014. № ОВ 2. С. 317–323
- 11. Кунгурова В.Е., Степанов В.А. Некоторые типоморфные особенности золота прибрежно-морских пляжевых россыпей юго-западной Камчатки / В.Е. Кунгурова // Вестник Камчатской региональной ассоциации. 2010. № 2 (16). С. 35–43.
- 12. Manual No. ME11559A02. Cat. No. 2036E101/102/201/202/301/302. Theta-Theta Type X-ray Diffractomator Ultima IV. Instruction Manual. Tokyo. BOEKI LTD. 2012. 77 p.
- 13. Data base PDXL-2.Version 2.2.10. URL: https://www.rigaku.com/downloads/journal/RJ28-1/RJ28-1\_29-30s.pdf (дата обращения: 06.03.2018).
- 14. Data base PDF-2 Release 2012. Software version: 4.12.3.3. Database version: 2.1202. URL: https://www.red-books.ibm.com (дата обращения: 06.03.2018).
- 15. Волков А.В. Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований / Ф.В. Волков, Т.М. Злобина [и др.] // Геология рудных месторождений. 2010. № 6. С. 572—576.

### References

- 1. Patyk-Kara N.G. Minerageniia rossypei: tipy rossypnykh provintsii [Minerageny of placers:types of placer bearing provinces]. Moskow, Institut geologii rudnykh mestorozhdenii, petrografii, mineralogii i geokhimii Rossiiskoi akademii nauk, 2008, 526.
- 2. Lalomov A.V. Placer deposits of the Russian Arctic and ways of development [Rossypi Rossiiskoi Arktiki i perspektivy ikh otrabotki]. Mineralogiia Mineralogy, 2017, no. 2, pp. 30–42.
- 3. Garnett R.H.T, Basset N.G. Placer Deposits. Economic Geology, 2005, no. 100, pp. 813–843.
- 4. Lalomov A., Grigorieva A. Development of technology of micropaleofacial analysis foroptimization of geological exploration on Ti-Zr placer deposits. Proceedings of the 18-th International Sedimentological Congress (Mendosa, September 26 October 1, 2010), Argentina, 2010, pp. 523.
- 5. Patyk-Kara N., Ivanova A. Placer minerageny of the North-Western Pacific continental margin. Proceedings of the Proceedings of the INTERIM IAGOD Conference (Vladivostok, September 1–20, 2004), Vladivostok, Dalnauka, 2004, pp. 701–703.
- 6. Bykhovskii L.Z., Sporykina L.V. Placer deposits in the resource base and production of minerals [Rossypnye mestorozhdeniia v syr'evoi baze i dobyche poleznykh iskopaemykh]. Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie Mineral resources of Russia. Economics and management, 2013, no. 6, pp. 6–17.
- 7. Lalomov A.V., Tabolich S.E. Lokal'nye geologo-dinamicheskie faktory formirovaniia kompleksnykh pribrezhno-morskikh rossypei tiazhelykh metallov [Local geological and dynamic factors of formation of integrated coastal-marine alluvial deposits of heavy metals]. Moskow, GEOS, 2013, 224.
- 8. Bondarenko I.V., Khitrov V.V. and others. The report of the Kamchatka Party on the results of general prospecting and detailed prospecting works on placers of the shelf of the southern part of the western coast of Kamchatka for the years 1976-1978. Petropavlovsk-Kamchatsky: Funds VGF, THF, PTSU. 1979. In two books: 140 + 256 with.

- 9. Naumov Iu.A. Usloviia formirovaniia pribrezhno-morskikh rossypei Iugo-Zapadnoi Kamchatki [Conditions for the formation of coastal marine placers in South-Western Kamchatka]. Nachodka, NOU VPO Institut tekhnologii i biznesa, 2012, 116.
- 10. Kungurova V.E. Prospects for development of coastal-marine gold-bearing placers of the western coast of Kamchat-ka [Perspektivy osvoeniia pribrezhno-morskikh zolotonosnykh rossypei zapadnogo poberezh'ia Kamchatki]. Gorno-informatsionnyi analiticheskii biulleten'. Kamchatka. Spetsial'nyi vypusk. Mining Information Analytical Bulletin. Kamchatka. Special issue., 2014, no. 2, pp. 317–323.
- 11. Kungurova V.E., Stepanov V.A. Some typomorphic features of gold in coastal-marine beach placers in southwestern Kamchatka [Nekotorye tipomorfnye osobennosti zolota pribrezhno-morskikh pliazhevykh rossypei iugo-zapadnoi Kamchatki]. Vestnik Kamchatskoi regional'noi assotsiatsii. 2010, no. 2, pp. 35–43.
- 12. Manual No. ME11559A02. Cat. No. 2036E101/102/201/202/301/302. Theta-Theta Type X-ray Diffractomator Ultima IV. Instruction Manual. Tokyo. BOEKI LTD. 2012. 77 p.
- 13. Data base PDXL-2.Version 2.2.10. URL: https://www.rigaku.com/downloads/journal/RJ28-1/RJ28-1\_29-30s.pdf (date of the application 06.03.2018).
- 14. Data base PDF-2 Release 2012. Software version: 4.12.3.3. Database version: 2.1202. URL: https://www.redbooks.ibm.com (date of the application: 06.03.2018).
- 15. Volkov A.V., Zlobina T.M. Native gold: typomorphism of mineral associations, conditions for the formation of deposits, tasks of applied research [Samorodnoe zoloto: tipomorfizm mineral'nykh assotsiatsii, usloviia obrazovaniia mestorozhdenii, zadachi prikladnykh issledovanii ]. Geologiia rudnykh mestorozhdenii Geology of ore deposits, 2010, no. 6, pp. 572–576.

УДК 552.08:622.02:620.171.32:622'122

### ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ СМЕРЗШИХСЯ ГОРНЫХ ПОРОД НА СДВИГ

### Максимов М.С., Панишев С.В., Козлов Д.С.

Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, Якутск, e-mail: mexes 07@mail.ru, bsdpsv@mail.ru

Для месторождений зоны многолетней мерзлоты характерна отрицательная температура горных пород, предопределяющая необходимость предварительного разрушения буровзрывными работами. Взорванная горная масса вследствие ее отрицательной температуры повторно смерзается. Это значительно осложняет ведение горных работ в таких условиях. Представлены результаты лабораторных исследований прочности смерзшихся горных пород на сдвиг в зависимости от температуры, гранулометрического состава образцов и усилия нормального давления между образцами в условиях постоянной влажности. Эксперименты выполнены по оригинальной методике, отличительной особенностью которой является то, что в процессе проведения эксперимента, при подготовке образцов производится разогрев поверхностей смораживания, чем создается имитация оттайки поверхности кусков горной породы в процессе взрывного разрушения. Изменчивость усилий давления между кусками отбитой породы по глубине развала задавалась различными величинами расчетного нормального давления между поверхностями смораживания образцов. В результате проведения лабораторных экспериментов были получены данные о характере изменения прочности смерзания во взаимосвязи с температурой, гранулометрическим составом и усилием нормального давления между образцами и глубиной растепленного слоя. Исследованиями установлено, что прочность смерзания с увеличением гранулометрического состава и усилием давления между кусками возрастает. При наименьшем усилии нормального давления, соответствующем поверхностному слою развала взорванной породы, прочность смерзания, наоборот, имеет тенденцию к снижению. Показано, что в условиях постоянной влажности с понижением температуры уменьшается толщина растепленного слоя поверхностей смораживания и соответственно прочность смерзания образцов. С ростом величины нормального давления между смораживаемыми образцами прочность смерзания увеличивается.

Ключевые слова: мерзлые горные породы, прочность смерзания, гранулометрический состав, влажность, смораживание мерзлых образцов, глубина растепленного слоя

### LABORATORY RESEARCHES OF THE STRENGTH OF ADFREEZED ROCKS ON SHEAR

Maksimov M.S., Panishev S.V., Kozlov D.S.

Mining Institute of the North named N.V. Cherskiy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: mexes 07@mail.ru, bsdpsv@mail.ru

For deposits in the zone of permafrost, a negative temperature of rocks is typical, which predetermines the need for preliminary destruction by drilling and blasting operations. Exploded mountain mass due to its negative temperature re-freezes. This greatly complicates the conduct of mining operations in such conditions. The results of laboratory researeches of the strength of adfreezed rocks on shear depending on the temperature, granulometric composition of samples and the normal pressure force between samples in the conditions of constant humidity are presented. The experiments are carried out according to the original technique, a distinctive feature of which is that, in the course of the experiment, when preparing samples, the freezing surfaces are heated, which creates an imitation of the surface thawing of pieces of rock in the process of explosive destruction. The variability of the efforts of the pressure between the pieces of broken rocks at the depth of the collapse asked various values calculated normal pressure between the surfaces of freezing samples. As a result of laboratory experiments, data were obtained on the character of changes in the strength of freezing in relation to temperature, granulometric composition, and the force of normal pressure between the samples and the depth of the thawed layer. It has been established by investigations that the adfreezing strength with the increase in granulometric composition and the forces of the pressure between the pieces increases. At the lowest normal pressure force, corresponding to the surface layer of the breakup of the blasted rock, the adfreezing strength on the contrary, tends to decrease. It is shown that in conditions of constant humidity with temperature decrease the thickness of the thawed layer of the currant surfaces and, accordingly, the strength of freezing samples decreases.. With growth of size of normal pressure between frozen samples durability of freezing increases.

Keywords: frozen rocks, adfreezing strength, granulometric composition, humidity, adfreezing of frozen specimens, the depth of the thawed layer

Для месторождений зоны многолетней мерзлоты характерна отрицательная температура горных пород, предопределяющая их повышенную прочность и необходимость предварительного разрушения буровзрывными работами. В процессе взрывного разрушения выделяется некото-

рое количество тепла, приводящее к растеплению поверхностного слоя мерзлых пород и появлению влаги в виде воды или пара в этом слое, которая замерзает за счет аккумулированного в кусках отбитой породы холода, превращая отбитую горную массу в смерзшийся монолит. Это значи-

тельно осложняет ведение горных работ в таких условиях.

процесса Исследования смерзания пород были начаты в нашей стране еще в 1930-х гг. и продолжаются по настоящее время. Из современных исследователей внесших значительный вклад в изучение данной проблематики, можно отметить С.И. Васильева, занимавшегося исследофизико-механических и прочностных характеристик мерзлых грунтов [1, 2]. Одним из продолжателей школы механики мерзлых пород является С.С. Волохов. Он исследовал прочность смерзания грунта с различными материалами |3| и в последние годы плотно занимается термореологией мерзлых, промерзающих и протаивающих пород, в частности исследованием механокалорического эффекта в мерзлых грунтах [4]. Интересные результаты по механизму разрушения мерзлых грунтов во взаимосвязи с фазовыми переходами грунтовой влаги получены А.А. Коноваловым [5].

Системное изучение процесса смерзания в Институте горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН (Якутск) было начато в 1990-х гг. и ведется по настоящее время. Здесь можно отметить работы М.В. Каймонова и А.С. Курилко, направленные на изучение механизма смерзания взорванной горной массы. На основании этих результатов исследований были разработаны рекомендации по предотвращению смерзания отбитой мёрзлой руды в очистных блоках рудников криолитозоны [6]. А.П. Винокуровым было установлено, что в наибольшей степени, на прочность смерзания, оказывают влияние влажность горных пород и глубина растепленного слоя на контакте между кусками, при этом прочность смерзания с понижением температуры и увеличением влажности возрастает [7]. Однако на практике для условий многих месторождений характерна изменчивость гранулометрического состава пород, влажность пород обычно изменяется незначительно, а процесс повторного смерзания мерзлых взорванных пород имеет свои особенности в разные периоды года. Весенне-летний период характеризуется нарастающими положительными температурами окружающего воздуха и интенсивным выделением влаги на поверхности кусков взорванного мерзлого массива за счет солнечной инсоляции. Для осенне-зимнего периода характерны тепловая инерция массива, накопленная летом и низкие отрицательные температуры окружающего воздуха, что в свою очередь замедляет процесс смерзания взорванной горной массы [8]. Поэтому целью исследований было установление взаимосвязей прочности повторного смерзания с температурой пород, толщиной растепленного слоя и усилием нормального давления между кусками в условиях постоянной влажности и изменчивости гранулометрического состава. Метод исследования – эксперимент. Объект исследования – вскрышные породы Кангаласского месторождения бурых углей. Для этой цели была разработана методика лабораторных исследований прочности смерзшихся горных пород на сдвиг в зависимости от их температуры и гранулометрического состава [9].

Методикой исследований предусматривалось определение прочности смерзания при варьировании параметров основных влияющих факторов: температуры и влажности образцов пород, величины растепленного слоя (контактной зоны смораживания), нормального давления между образцами и плотности упаковки. В процессе испытаний производилось смораживание мерзлых образцов горных пород, поверхности которых по плоскости смерзания предварительно подвергались искусственной тепловой обработке при температуре 90-100°C, с расстояния 0,1 м и выдержкой примерно 10 сек., чем создавалась имитация разогрева и оттаивания поверхностного слоя кусков породы при взрыве в натурных условиях. При этом фиксировалась глубина протаявшего слоя. Влажность образцов, была принята постоянной и составляла 15%, что соответствовало средней влажности пород Кангаласского месторождения.

Для оценки влияния плотности упаковки на прочность смерзшихся пород на сдвиг испытания проводились на образцах, подготовленных без уплотнения и с уплотнением. Объемный вес образцов без уплотнения составлял 1,6 г/см<sup>3</sup>, образцов с уплотнением – 1,8 г/см $^3$ . В связи с тем, что усилие нормального давления между кусками отбитой взрывом породы по глубине развала различно, эксперименты проводились при 3-х усилиях давления. Первое усилие N1 соответствовало условиям на глубине развала 1 м, второе N2 – на глубине 12 м и третье N3 – на глубине 20 м (табл. 1). Нагружение образцов нормальным давлением к плоскости смерзания осуществлялось специальным приспособлением.

 Таблица 1

 Расчетные усилия нормального давления между образцами

Подготовка	Усилие нормального давления, кН							
образца	N1 N2 N3							
Без уплотнения	0,039	0,471	0,785					
С уплотнением	0.044	0.53	0.883					

Таблица 2 Прочность смерзания образцов, подготовленных без уплотнения

Гран. состав		Прочность смерзания, МПа										
образцов, мм	П	при $t_{\rm cm}$ —5 °C при $t_{\rm cm}$ —10 °C при $t_{\rm cm}$ —20 °C						,C				
	при N1	при N2	при N3	при N1	при N2	при N3	при N1	при N2	при N3			
0,2-0,1	0,42	0,58	0,69	0,41	0,41	1,03	0,25	0,1	0,15			
0,5-0,2	0,55	0,82	0,89	0,11	0,35	0,67	0,14	0,12	0,1			
1-0,5	_	_	_	_	_	_	0,14	0,1	0,27			

Таблица 3 Прочность смерзания образцов, подготовленных с уплотнением

Гран. со		Прочность смерзания, МПа									
образцо	B, MM	П	при $t_{\rm cm}$ —5°C при $t_{\rm cm}$ —10°C при $t_{\rm cm}$ —20°C						С		
		при N1	при N2	при N3	при N1	при N2	при N3	при N3 при N1 при N			
0,2–0	),1	0,55	0,66	0,53	0,39	0,54	0,81	0,19	0,09	0,16	
0,5–0	),2	0,46	0,65	0,60	0,12	0,31	0,56	0,07	0,08	0,09	
1-0,	,5	_	_	_	_	_	_	0,13	0,14	0,28	

В результате лабораторных экспериментов были получены данные о прочности смерзания при температурах смораживания  $(t_{\rm cm})$  –5 °C, –10 °C, –20 °C, по гранулометрическим составам 0,2–0,1 мм, 0,5–0,2 мм, 1–0,5 мм, а также при различных усилиях давления между образцами, которые представлены в табл. 2 и 3.

На рис. 1 и 2 представлены зависимости прочности смерзания образцов горных пород с размером фракций 0,2-0,1 мм и 0,5-0,2 мм от температуры смораживания при их влажности 15%. Установлено, что в диапазоне от -5 °C до -20 °C прочность смерзания образцов горных пород уменьшается с понижением их температуры. При этом прочнее смерзаются породы с наибольшим усилием нормального давления между образцами. Для фракции 0,2–0,1 мм прочность смерзания образцов горных пород, при понижении температуры от −5 °C до −20 °C и в зависимости от усилия нормального давления, уменьшается в 1,5-6 раза для образцов без уплотнения, и для уплотненных образцов в 6,5-8 раза. Для фракции 0,5-0,2 мм прочность смерзания образцов горных пород уменьшается от 4 до 9 раз для образцов без уплотнения и для образцов с уплотнением от 6,5 до 8 раз, в зависимости от усилия нормального давления.

В процессе проведения испытаний образцов было установлено, что максимальные значения прочности смерзания присущи температуре смораживания –10°С и наибольшему усилию нормального давления, при общей тенденции к ее снижению. В наибольшей степени данная особенность отмечена для образцов породы с размером фракций 0,2–0,1 мм и в меньшей степени, для фракции 0,5–0,2 мм.

Исследованиями установлено, что при температуре -20°C прочность смерзания с увеличением гранулометрического состава и нормального давления возрастает. При наименьшем усилии нормального давления (N1), соответствующем поверхностному слою развала взорванной породы, прочность смерзания, наоборот, имеет тенденцию к снижению (рис. 3). С ростом величины нормального давления, соответствующей росту глубины развала, и увеличением гранулометрического состава прочность смерзания увеличивается в 1,5–1,8 раза. Причем наиболее интенсивное увеличение прочности смерзания отмечено для условий, соответствующих максимальной принятой для расчета усилия нормального давления глубине развала взорванной породы (величина N3).

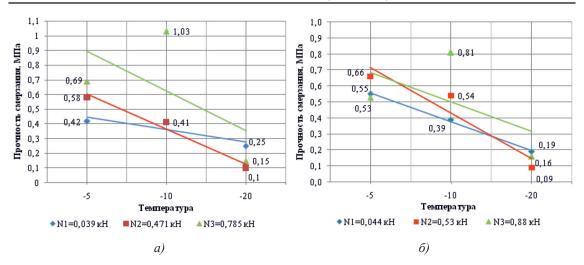


Рис. 1. Зависимость прочности смерзания образцов горных пород с фракцией 0,2–0,1 мм от температуры смораживания при различных усилиях нормального давления:

а) образцы без уплотнения, б) образцы с уплотнением

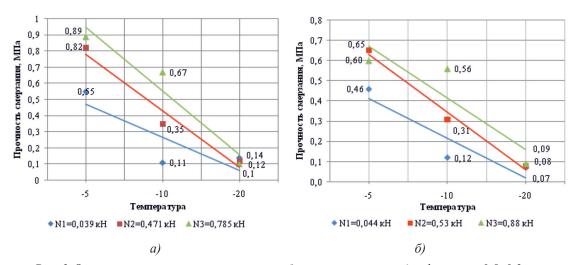


Рис. 2. Зависимость прочности смерзания образцов горных пород с фракцией 0,5–0,2 мм от температуры смораживания при различных усилиях нормального давления:

а) образцы без уплотнения, б) образцы с уплотнением

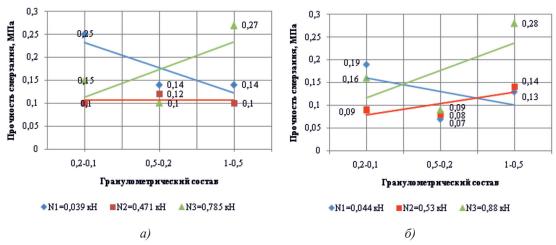


Рис. 3. Зависимость прочности смерзания от гранулометрического состава образцов: а) образцы без уплотнения, б) образцы с уплотнением

 Таблица 4

 Результаты определения глубины растепления и прочности смерзания

	Показатели	Образць	ы без упло	тнения	Образцы с уплотнением		
ИЯ ММ	Температура смораживания, град	-5	-10	-20	-5	-10	-20
Фракция ),2—0,1 мм	Глубина растепления, мм	1,98	1,47	1,11	1,69	1,24	1,03
Ф <sub>7</sub> -2,0	Прочность смерзания, МПа	0,56	0,62	0,17	0,58	0,58	0,15
кция,	Температура смораживания, град	-5	-10	-20	-5	-10	-20
1 H 2	Глубина растепления, мм	1,79	1,33	0,83	1,50	1,33	0,78
Фрак 0,5–0,	Прочность смерзания, МПА	0,75	0,38	0,12	0,57	0,38	0,08

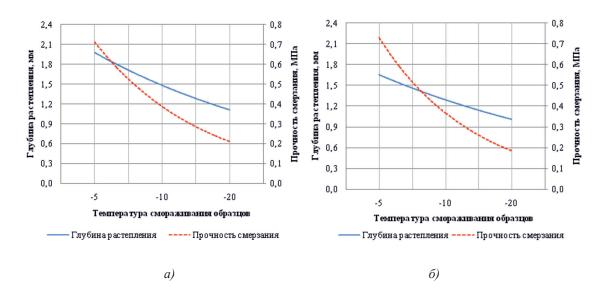


Рис. 4. Взаимосвязь глубины растепленного слоя и прочности смерзания от температуры смораживания образцов (фракция 0,2–0,1 мм):

а) образцы без уплотнения, б) образцы с уплотнением

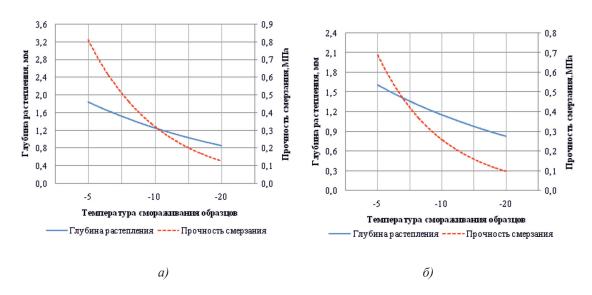


Рис. 5. Взаимосвязь глубины растепленного слоя и прочности смерзания от температуры смораживания образцов (фракция 0,5–0,2 мм): а) образцы без уплотнения, б) образцы с уплотнением

В табл. 4 представлены результаты лабораторных экспериментов по определению глубины растепления и прочности смерзания для различных температур, а на рис. 4 и 5 — графики установленных экспериментами взаимосвязей между указанными параметрами.

Как видно из графиков, с понижением температуры уменьшается глубина растепленного слоя и соответственно уменьшается прочность смерзания. Связано это с тем, что при одном и том же времени теплового воздействия поверхности смерзания образцов с более низкой температурой оттаивают в меньшей степени, соответственно, меньше и величина растепленного слоя. При этом толщина растепленного слоя у образцов, подготовленных без предварительного уплотнения, больше.

Выполненными натурными наблюдениями на разрезе «Кангаласский» было установлено, что при одной и той же отрицательной температуре породы в забое драглайна снижение производительности экскаватора происходит в наибольшей степени в весенний период, что связано с интенсивным выделением влаги на поверхности кусков взорванного мерзлого массива за счет инсоляции. Результаты проведенных исследований помогают более полно раскрыть механизм повторного смерзания взорванной горной массы на месторождениях криолитозоны.

### Список литературы

- 1. Васильев С.И. Исследование прочностных характеристик сезонно-мерзлых грунтов Сибири и Севера / С.И. Васильев // Системы. Методы. Технологии. 2010. № 5. С 93—99
- 2. Васильев С.И. Повышение эффективности разработки сезонно-мерзлых грунтов / С.И. Васильев // Системы. Методы. Технологии. 2009. N2. C. 96–98.
- 3. Волохов С.С. Прочность смерзания мерзлых грунтов с материалами трубопроводов / С.С. Волохов // Основания, фундаменты и механика грунтов. -2010. -№ 5. C. 25-28.
- 4. Волохов С.С. Механокалорический эффект в мерзлых грунтах при одноосном сжатии / С.С. Волохов // Криосфера земли. 2016. Т. XX, № 1. С. 30–35.
- 5. Коновалов А.А. К теории прочности мерзлого грунта / А.А. Коновалов // Криосфера земли. 2009. Т. XIII, № 1. С. 31—39.
- 6. Каймонов М.В. Влияние теплофизических и технологических факторов на смерзание отбитой горной массы / М.В. Каймонов, Ю.А. Хохолов, А.С. Курилко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № ОВ4. С. 166–175.
- 7. Винокуров А.П. Исследование процессов смерзаемости горных пород в условиях месторождений криолитозоны / А.П. Винокуров // Горный информационно-аналитический

- бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 10. С. 75–82
- 8. Панишев С.В. Влияние температурного режима на эффективность разработки вскрышных пород месторождений криолитозоны / С.В. Панишев, С.А. Ермаков // Физ.техн. пробл. разраб. полез. ископаемых. 2013. № 2. С. 132—138.
- 9. Панишев С.В. Методика лабораторных исследований прочности смерзшихся горных пород на сдвиг в зависимости от их температуры и гранулометрического состава / С.В. Панишев [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 3. С. 23—29.

#### References

- 1. Vasil'ev S.I. Investigation of the strength characteristics of seasonally frozen soils of Siberia and the North [Issledovanie prochnostnykh kharakteristik sezonno-merzlykh gruntov Sibiri i Severa]. Sistemy. Metody. Tekhnologii. Systems. Methods. Technologies, 2010, no. 5, pp. 93–99.
- 2. Vasil'ev S.I. Increase in the efficiency of development of seasonally frozen soils [Povyshenie effektivnosti razrabotki sezonno-merzlykh gruntov ]. Sistemy. Metody. Tekhnologii. Systems. Methods. Technologies, 2009, no. 3, pp. 96–98.
- 3. Volokhov S.S. The strength of the freezing of frozen soils with materials of pipelines [Prochnost' smerzaniia merzlykh gruntov s materialami truboprovodov]. Osnovaniia, fundamenty i mekhanika gruntov Soil mechanics and foundation engineering, 2010, no. 5, pp. 25–28.
- 4. Volokhov S.S. Mechanocaloric effect in frozen soils under uniaxial compression [Mekhanokaloricheskii effekt v merzlykh gruntakh pri odnoosnom szhatii]. Kriosfera zemli Earth's Cryosphere, 2016, no. 1, pp. 30–35.
- 5. Konovalov A.A. On the theory of strength of frozen soil [K teorii prochnosti merzlogo grunta]. Kriosfera zemli Earth's Cryosphere, 2009, no. 1, pp. 31–39.
- 6. Kaimonov M.V., Khokholov Iu.A., Kurilko A.S. Influence of thermophysical and technological factors on the freezing of broken rock mass [Vliianie teplofizicheskikh i tekhnologicheskikh faktorov na smerzanie otbitoi gornoi massy]. Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal), 2010, no. 4, pp. 166–175.
- 7. Vinokurov A.P. Investigation of the processes of rock congelation in the conditions of deposits of cryolithozone [Issledovanie protsessov smerzaemosti gornykh porod v usloviiakh mestorozhdenii kriolitozony]. Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal), 2011, no. 10, pp. 75–82.
- 8. Panishev S.V. Ermakov S.A The influence of the temperature regime on the efficiency of the development of overburden rocks of the cryolithozone [Vliianie temperaturnogo rezhima na effektivnosť razrabotki vskryshnykh porod mestorozhdenii kriolitozony]. Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh Journal of mining science, 2013, no. 2, pp. 132–138.
- 9. Panishev S.V. Ermakov S.A. Kaimonov M.V. Maksimov M.S. Kozlov D.S. The method of laboratory studies of the strength of frozen rocks for shear, depending on their temperature and granulometric composition [Metodika laboratornykh issledovanii prochnosti smerzshikhsia gornykh porod na sdvig v zavisimosti ot ikh temperatury i granulometricheskogo sostava]. Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchnotekhnicheskii zhurnal) Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal), 2014, no. 3, pp. 23–29.

УДК 556.115:556.555.6:[574+579]

# ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ПАРАТУНСКОГО ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ЧИСЛЕННОСТЬ И ГЕОХИМИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ МИКРООРГАНИЗМОВ ИЛОВОГО СУЛЬФИДНОГО ПЕЛОИДА

### Мурадов С.В.

Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, Петропавловск-Камчатский, e-mail: biolab@kscnet.ru

Термоминеральные воды Паратунского гидротермального месторождения после отбора тепла сбрасываются в питающие воды грязелечебного месторождения и оказывают экологическое влияние на сообщество микроорганизмов донных грязе-иловых отложений. В настоящей работе приводятся данные по определению зависимости процессов развития микрофлоры пелоида от содержания тяжелых металлов в среде инкубирования. Различная концентрация тяжелых металлов достигается разведением термоминеральной воды Паратунского месторождения, содержащей эти вещества. Критерием устойчивости микроорганизмов к тяжелым металлам является рост численности микроорганизмов и их геохимическая активность в сравнении с контрольным вариантом разведения пелоида дистиллированной водой. При этом наблюдается процесс угнетения развития микробной ассоциации при активировании пелоида термальной водой, но, по-видимому, определенную толерантность к факторам термальной воды проявляют аммонифицирующие микроорганизмы, продолжающие минерализацию органического вещества. В анаэробном процессе с термальной водой происходит увеличение общего числа микроорганизмов за счет анаэробных бактерий, но выработка сероводорода и аммиака снижается. Анаэробная часть микробного сообщества лечебной грязи более устойчива к факторам термальной воды. Разведение пелоида дистиллированной водой приводит к его обводнению и снижению содержания токсических факторов в пелоидном растворе, стимулирует размножение микроорганизмов и их геохимическую активность. Установлено, что применение 100%-ной термальной воды приводит к угнетению нарастания численности микроорганизмов и их геохимической активности, 25%-ная термальная вода стимулирует развитие микробного сообщества, создавая минеральную и микроэлементную подкормку, при этом активируется и геохимическая активность микробного сообщества пелоида. Генезис исследуемого пелоида исторически был связан с термоминеральными водами, но в меньших концентрациях.

Ключевые слова: термальная вода, пелоид, микрофлора, численность, тяжелые металлы, геохимическая деятельность

## INFLUENCE OF MINERAL WATERS OF THE PARATUNSKY HYDROTHERMAL DEPOSIT ON THE NUMBER AND GEOCHEMICAL ACTIVITY OF MICROORGANISMS OF A SULPHIDE PELOID

### Muradov S.V.

Scientific research geotechnological centre Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, e-mail: biolab@kscnet.ru

Thermomineral waters of the Paratunska hydrothermal deposit, after the heat extraction, are discharged into the feeding waters of the mud-treatment deposit and exert an ecological influence on the community of microorganisms of the bottom mud-silt sediments. In the present work, data are given on the determination of the dependence of the development of the microflora of the peloid on the content of heavy metals in the incubation medium. A different concentration of heavy metals is achieved by diluting the thermomineral water of the Paratunka deposit containing these substances. The criterion for the resistance of microorganisms to heavy metals is the growth of the number of microorganisms and their geochemical activity in comparison with the control variant of dilution of the peloid with distilled water. There is a process of inhibiting the development of microbial association when the peloid is activated with thermal water, but ammonifying microorganisms that continue to mineralize organic matter seem to have a certain tolerance for the thermal water factors. In the anaerobic process with thermal water, the total number of microorganisms increases due to anaerobic bacteria, but the production of hydrogen sulphide and ammonia decreases. The anaerobic part of the microbial community of therapeutic mud is more resistant to thermal water factors. Dilution of the peloid with distilled water leads to its watering and reduction of the content of toxic factors in the peloid solution, stimulates the multiplication of microorganisms and their geochemical activity. It has been established that the use of 100% thermal water leads to inhibition of the growth of the number of microorganisms and their geochemical activity, 25% thermal water stimulates the development of the microbial community, creating mineral and microelementary fertilizing, and the geochemical activity of the microbial community of the peloid is also activated. The genesis of the investigated peloid was historically associated with thermomineralic waters, but

Keywords: thermal water, peloid, microflora, abundance, heavy metals, geochemical activity

Термоминеральные воды Паратунского гидротермального месторождения Камчатского края после отбора тепла сбрасы-

ваются в питающие воды грязелечебного месторождения «озеро Утиное» и оказывают экологическое влияние на сообщество

микроорганизмов донных грязе-иловых отложений. Для изучения степени влияния термоминеральных вод Паратунского месторождения на микроорганизмы иловой сульфидной грязи и их геохимическую активность моделируется естественная среда пелоида с ускорением биологических процессов в процессе экологической активации. Экологическая активация (ЭА) пелоида заключается в комплексном изменении условий инкубирования, способствующих развитию микробного сообщества лечебной грязи путем ее перемешивания (150 об/мин), подогрева до 25 °С и аэрации продувкой воздухом. Аналогичные подходы биоиндикации могут осуществляться к исследованию почвы, воды, торфа, в которых контролируются биогеохимические процессы накопления тяжелых металлов [1–3].

Целью нашего исследования являлось изучение влияния термальной воды на динамику общей численности микроорганизмов (ОЧМ) пелоида и его физико-химических параметров (водородного показателя, окислительно-восстановительного потенциала, концентраций аммиака и сероводорода) в процессах аэробной и анаэробной активации.

Закономерности изменения процесса активации лечебной грязи по физико-химическим параметрам с определением общего числа микроорганизмов (рассчитывается прямым подсчетом), при сравнении с показателями общей микробной численности, определяемой по числу проросших колоний (КОЕ), показали сходимость результатов исследований [4; 5].

Уровень геохимической активности микробного сообщества пелоида устанавливается по изменению кислотно-щелочного равновесия, окислительного потенциала, содержания сероводорода и аммиака в грязевом растворе [6; 7].

### Материалы и методы исследования

Определение сероводорода проводили согласно методике, представленной в ПНДФ 14.1:2.109-97 «Методика выполнения измерений массовых концентраций сероводорода и сульфидов в пробах природных и очищенных сточных вод фотометрическим методом с N,N-диметил-пфенилендиамином». Содержание аммиака определялось согласно методике, представленной в РД 52.24.486-2009 «Массовая концентрация аммиака и ионов аммония в водах. Методика выполнения измерений

фотометрическим методом с реактивом Несслера» [8; 9].

В соответствии с поставленными задачами был проведен эксперимент по экологической активации лечебной грязи с разведением термальной водой в аэробных и анаэробных условиях. Эксперимент был поставлен в трех вариантах:

- 1) лечебная грязь разводилась только бидистиллированной водой;
- 2) лечебная грязь разводилась только термальной водой Паратунского месторождения;
- 3) лечебная грязь разводилась термальной водой, разбавленной в соотношении 1:3 к дистиллированной.

### Результаты исследования и их обсуждение

Изменения параметров лечебной грязи в процессе экологической активации с применением дистиллированной воды, термальной воды и ее 25% разведения приведены на рис. 1-5.

При аэробной активации с дистиллированной водой динамика изменения значений ОЧМ показывает плавное нарастание численности микроорганизмов с последующей стадией снижения их численности (50,6·10<sup>7</sup>–99,31·10<sup>7</sup>–46,2·10<sup>7</sup>) (рис. 1, кривая А). Динамики изменения значений рН и Еһ показывают противоположные векторы изменений. Кислотность среды плавно нарастает с 6,7 до уровня 3,94, рост Еһ сохраняется до окончания эксперимента, достигая величины 226 mV (рис. 2, кривая А; рис. 3, кривая А).

При анаэробном варианте экологической активации с дистиллированной водой наблюдается следующая динамика изменений значений общего числа микроорганизмов: сначала численность клеток нарастает с  $50,6\cdot10^7$  до  $225,46\cdot10^7$  кл/г с последующим снижением численности до 56,36·107 кл/г, затем наблюдается новый этап роста значений ОЧМ до  $169,1\cdot10^7$  кл/г (рис. 1, кривая Б). Динамика изменения значений рН показывает в первой половине эксперимента подкисление среды с 6,7 до 5,62, в последующем рН растет до значений 7,12, превышающих исходные (рис. 2, кривая Б). Значения Ећ нарастают в ходе всего эксперимента с –122 до +196 (рис. 3, кривая Б). Содержание сероводорода в ходе эксперимента снижается до очень низких показателей, с 16,8 до 0,01 мг/ дм<sup>3</sup>. Кривая концентрации аммиака снижается в начальные три дня эксперимента, затем отмечается его рост (183,0–63,0–90,0) мг/дм<sup>3</sup> (рис. 4, кривая Б; рис. 5, кривая Б).

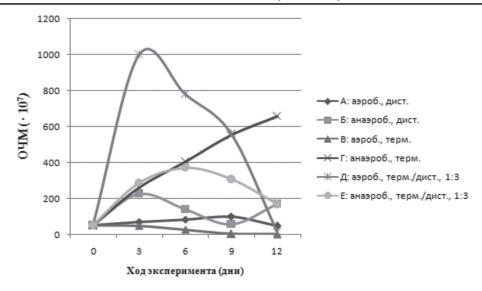


Рис. 1. Изменение общего числа микроорганизмов (кл/г) в аэробных и анаэробных условиях экологической активации с различным содержанием термальной и дистиллированной воды

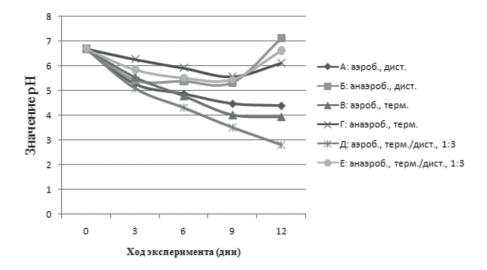


Рис. 2. Изменения показателей pH в аэробных и анаэробных условиях экологической активации с различным содержанием термальной и дистиллированной воды

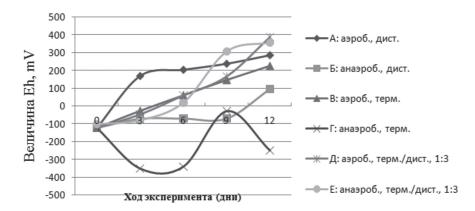


Рис. 3. Изменения показателей Eh в аэробных и анаэробных условиях экологической активации с различным содержанием термальной и дистиллированной воды

При аэробной активации с термальной водой динамика изменения значений общего числа микроорганизмов показывает плавное снижение численности микроорганизмов с 50,6·10<sup>7</sup> до 0,31·10<sup>7</sup> на протяжении всего хода эксперимента, что указывает на тормозящее действие термальной воды на развитие микробного сообщества в процессе экологической активации (рис. 1, кривая В). Динамика изменения значений рН и Ећ показывает противоположные векторы изменений. Кислотность среды плавно нарастает с (6,7–3,94) до 9-го дня эксперимента (рис. 2, кривая В).

Положительное значение окислительно-восстановительного потенциала нарастает до окончания эксперимента (рис. 3, кривая В).

При аэробной активации пелоида с разведением термальной водой динамика содержания сероводорода показывает резкое снижение его концентрации (16,8–0,3) мг/дм<sup>3</sup>, и после 5-го дня эксперимента содержание сероводорода становится ниже определяемого уровня (рис. 4, кривая Б) Концентрация аммиака постоянно нарастает, сохраняя высокий уровень до окончания эксперимента (183,0–249,0) мг/дм<sup>3</sup> (рис. 5, кривая В).

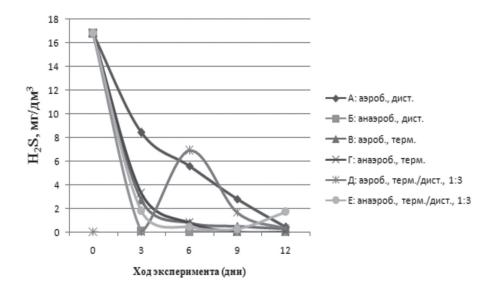


Рис. 4. Выделение сероводорода в аэробных и анаэробных условиях экологической активации с различным содержанием термальной и дистиллированной воды

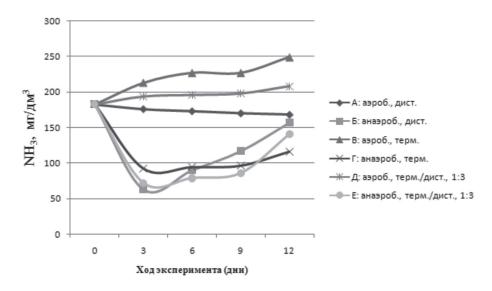


Рис. 5. Выделение аммиака в аэробных и анаэробных условиях экологической активации с различным содержанием термальной и дистиллированной воды

При анаэробной активации пелоида (с разведением термальной водой) динамика изменения значений ОЧМ показывает плавное нарастание численности микроорганизмов с  $50,6\cdot10^7$ – $656,26\cdot10^7$ , сохраняющееся до окончания эксперимента (рис. 1, кривая  $\Gamma$ ). Содержание сероводорода плавно снижается (рис. 4, кривая  $\Gamma$ ). Содержание аммиака снижается к середине эксперимента и обнаруживает тенденцию к росту с 183,0–94,0–116,0 мг/дм³ после восьмого дня наблюдений (рис. 5, кривая  $\Gamma$ ).

В случае аэробной активации лечебной грязи при 25% разведении термальной водой динамика изменения значений ОЧМ показывает период бурного роста с  $50,6\cdot10^7$ до  $1001\cdot10^7$ , стационарного развития и угнетения в последние четыре дня наблюдений до  $10.78 \cdot 10^7$  (рис. 1, кривая Д). Общее число микроорганизмов быстро нарастает и сохраняется на стационарном уровне, возвращаясь с восьмого дня активирования к исходной численности в начале эксперимента. Значения рН и Eh в этом опыте оказываются в противоположных фазах изменений, pH c 6,7 до 2,82, Eh c -122 до +390 mV (рис. 2, кривая Д; рис. 3, кривая Д). Содержание сероводорода снижается c16.8 до 0.3 мг/дм<sup>3</sup>, содержание аммиака также увеличивается с 183,0 до 208,0 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 4, кривая Д; рис. 5, кривая Д).

В анаэробной части эксперимента с данным разведением термальной водой наблюдается высокий уровень ОЧМ стационарной фазы развития, на уровне 371,7·10<sup>7</sup> (рис. 1, кривая Е). Значения показателей сероводорода и аммиака, снижаясь к середине эксперимента, растут к окончанию опыта (рис. 4, кривая Е; рис. 5, кривая Е).

Полученные данные по влиянию разведений пелоида термальной водой перед его экологической активацией показывают отчетливую реакцию важнейших параметров пелоида [10]: общего числа микроорганизмов, водородного показателя, окислительно-восстановительного потенциала. содержанию сероводорода и аммиака, связанных с геохимической деятельностью автохтонной микрофлоры лечебной грязи. Анализ итогов процессов экологической активации с дистиллированной, термальной и 25%-ной термальной водой в аэробных и анаэробных условиях показывает угнетающее влияние термальной воды по сравнению с активацией с бидистиллированной водой, что выражается уровнем общего числа микроорганизмов, характером его динамики, а также динамикой физико-хими-

ческих показателей. Наблюдается процесс угнетения развития микробной ассоциации при активировании пелоида термальной водой, но, по-видимому, определенную толерантность к факторам термальной воды проявляют аммонифицирующие микроорганизмы, продолжающие минерализацию органического вещества. В анаэробном процессе с термальной водой происходит увеличение общего числа микроорганизмов за счет анаэробных бактерий, но выработка сероводорода и аммиака снижается. Анаэробная часть микробного сообщества лечебной грязи более устойчива к факторам термальной воды.

### Заключение

Пелоид, разведенный в 25%-ной термальной воде, разбавленной бидистиллированной водой, в процессе аэробной активации по исследуемым параметрам показывает стабильно высокий уровень значений общего числа микроорганизмов, снижение величины и затем возрастание значений Eh и pH. Содержание сероводорода с содержанием аммиака со сдвигом в фазе снижаются и повышаются к концу наблюдений (колебания значений параметров составляют более 150%). Процесс аналогичен активации с разведением пелоида бидистиллированной водой, но более динамичен по развитию микробного сообщества и минерализации органического вещества. В анаэробной части эксперимента с данным разведением термальной водой наблюдаются высокие показатели ОМЧ в стационарной фазе развития. Значения параметров  $H_{2}$  и  $NH_{3}$ , снижаясь к середине эксперимента, растут к окончанию опыта (рис. 4, кривая Е; рис. 5, кривая Е).

Таким образом, установлено угнетающее влияние факторов термальной воды на развитие микробного сообщества в процессе экологической активации пелоида. Термальная вода с разведением до 25% бидистиллированной водой стимулирует развитие микробного сообщества лечебной грязи благодаря содержащимся минеральным факторам и низкой дозе токсических веществ, функционирующих в качестве микроэлементов. Этот эффект заложен в генезисе иловой сульфидной лечебной грязи в связи с исторически сложившимся взаимодействием с термальными ключами Паратунской курортной зоны Камчатки.

### Список литературы

1. Мурадов С.В., Хоменко А.И. Восстановление физико-химических и микробиологических кондиций лечебной

- грязи озера Утиное. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Витуса Беринга, 2014. 148 с.
- 2. Шулькин В.М., Чернова Е.Н., Христофорова Н.К., Коженкова С.И. Влияние горнорудной деятельности на изменение химического состава компонентов водных экосистем // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. -2014. -№ 6. -C. 483–494.
- 3. Чаков В.В., Завгорудько В.Н. Торфяные ресурсы Приамурья и их использование в пелоидотерапии. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2008. 127 с.
- 4. Мурадов С.В., Мудранова Л.А., Хоменко А.И., Рогатых С.В. Влияние эксплуатации геотермального месторождения на экологическое состояние лечебной грязи // Проблемы региональной экологии. 2014. № 3. С. 99–103.
- 5. Kuenen J.G., Robertson L.A., Gemerden H. Microbial interactions among and anaerobic sulfur oxidizing bacteria // Adv. Microbial. Ecol. 1985. No. 8. P. 1–59.
- 6. Braun V. Energy-coupled transport and signal transduction through the Gram-negative outer membrane via TonB-ExbB-ExbD dependent receptor proteins // FEMS Microbiol. Rev. 1995. No. 16. P. 295–307.
- 7. Sorokin D.Y., Banciu H.L., Muyzer G. Functional microbiology of soda lakes // Current Opinion in Microbiology. 2015. V. 25. P. 88–96.
- 8. Боева Л.В. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Ростов н/Д.: НОК, 2009. 21 с.
- 9. Ступникова Н.А. Экологические способы преобразования пелоида при антропогенном загрязнении // Вестник КГТУ. -2011. —№ 15. С. 65–71.
- 10. Алексеев В.С., Грабовников В.А., Клюквин А.Н., Пашковский И.С., Рошаль А.А. О готовности к практическому применению новой «Классификации запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод» // Недропользование XXI век. -2008. № 4. С. 36–41.

#### References

1. Muradov S.V, Khomenko A.I. Vosstanovlenie fizikokhimicheskikh i mikrobiologicheskikh konditsii lechebnoi griazi ozera Utinoe [Restoration of physico-chemical and microbiological conditions of therapeutic mud of Lake Utynoye]. Petropavlovsk-Kamchatsky, KamGU im. Vitusa Beringa, 2014, 148.

- 2. Shul'kin V.M., Chernova E.N., Khristoforova N.K., Kozhenkova S.I. Influence of mining activity on changes in the chemical composition of components of aquatic ecosystems [Vliianie gornorudnoi deiatel'nosti na izmenenie khimicheskogo sostava komponentov vodnykh ekosistem]. Geoekologiia, inzhenernaia geologiia, gidrogeologiia, geokriologiia Geoecology, engineering geology, hydrogeology, geocryology, 2014, no. 6, pp. 483–494.
- 3. Chakov V.V., Zavgorud'ko V.N. Torfianye resursy Priamur'ia i ikh ispol'zovanie v peloidoterapii [Peat resources of Priamurye and their use in peloid therapy]. Khabarovsk, IVEP DVO RAN, 2008, 127.
- 4. Muradov S.V., Mudranova L.A., Khomenko A.I., Rogatykh S.V. Effect of geothermal field operation on the ecological state of therapeutic mud [Vliianie ekspluatatsii geotermal'nogo mestorozhdeniia na ekologicheskoe sostoianie lechebnoi griazi]. Problemy regional'noi ekologii Problems of regional ecology, 2014, no. 3, pp. 99–103.
- 5. Kuenen J.G., Robertson L.A., Gemerden H. Microbial interactions among and anaerobic sulfur oxidizing bacteria. Adv. Microbial. Ecol., 1985, no. 8, pp. 1–59.
- 6. Braun V. Energy-coupled transport and signal transduction through the Gram-negative outer membrane via TonB-ExbB-ExbD dependent receptor proteins. FEMS Microbiol. Rev., 1995, no. 16, pp. 295–307.
- 7. Sorokin D.Y., Banciu H.L., Muyzer G. Functional microbiology of soda lakes. Current Opinion in Microbiology, 2015, no. 25, pp. 88–96.
- 8. Boeva L.V. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi [Guidelines for the chemical analysis of surface waters]. Rostov-on-Don, NOK, 2009, 21.
- 9. Stupnikova N.A. Ecological ways of transformation of a peloid at anthropogenous pollution [Ekologicheskie sposoby preobrazovaniia peloida pri antropogennom zagriaznenii]. Vestnik KGTU Bulletin of KSTU, 2011, no. 15, pp. 65–71.
- 10. Alekseev V.S., Grabovnikov V.A., Kliukvin A.N., Pashkovskii I.S., Roshal' A.A. About readiness for practical application of the new «Classification of reserves and forecasted resources of drinking, technical and mineral groundwater» [O gotovnosti k prakticheskomu primeneniiu novoi «Klassifikatsii zapasov i prognoznykh resursov pit'evykh, tekhnicheskikh i mineral'nykh podzemnykh vod»]. Nedropol'zovanie XXI vek Subsoil use of the XXI century, 2008, no. 4, pp. 36–41.

УДК 556.535:556.531.4(571.56)

### ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ РЕК В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ЯКУТИИ

¹Ноговицын Д.Д., ¹Шеина З.М., ¹Сергеева Л.П., ²Потапова Т.В.

<sup>1</sup>ΦГБУН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова» Сибирского отделения Российской Академии наук, Якутск, e-mail: dmitry.nogovitzyn@yandex.ru; <sup>2</sup>ΦГБУ «Якутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», Якутск

Для оценки изменения химического состава водных объектов с учетом возможного воздействия производственных процессов были проведены натурные обследования малых рек в арктической зоне Якутии. В полевой сезон 2017 г. были взяты пробы воды и проведены натурные измерения гидрологических характеристик - руч. Красный и р. Лев. Ыт-Юрях. Работы по анализу режима малых рек рассматриваемой территории ранее не проводились. Рассматриваемые водные объекты расположены в среднем течении р. Индигирка. Они относятся к категории малых водотоков сезонного типа, водотоки ежегодно промерзают до дна. По соотношению гидрологических постов на 1 км² площади водосбора данная территория относится к недостаточно изученной: в среднем здесь на один пост приходится 5000 км2. Для малых водотоков с периодическим режимом стока район практически является неизученной территорией. При расчете стока по заданным створам использованы региональные карты и коэффициенты по методикам расчета стока для неизученных рек при отсутствии гидрологических наблюдений. Распределение стоковых параметров малых водотоков в горных районах неоднородно в зависимости от площадей водосборов и дополнительно зависит от ряда сопутствующих факторов: высоты местности, экспозиции склонов, уклонов русел и залесенности водосбора. Поэтому для расчетов выполнено осреднение принимаемых параметров. При расчете минимальных расходов воды летне-осенней межени использованы региональные карты-схемы с уточнением расчетных модулей стока по данным наблюдений на малых водотоках территории. На рассматриваемых водотоках изучено их гидрохимическое состояние.

Ключевые слова: водные объекты, малые реки, гидрология, годовой сток, расход воды, гидрохимия

### HYDROLOGICAL AND HYDROCHEMICAL CONDITION OF SMALL RIVERS IN THE ARCTIC ZONE OF YAKUTIA

<sup>1</sup>Nogovitsyn D.D., <sup>1</sup>Sheina Z.M., <sup>1</sup>Sergeeva L.P., <sup>2</sup>Potapova T.V.

<sup>1</sup>The V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North, Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Yakutsk, e-mail: dmitry.nogovitzyn@yandex.ru;

<sup>2</sup>The Yakut Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Yakutsk

In order to assess changes in the chemical composition of water objects, taking into account the possible impact of production processes, field research of small rivers in the Arctic zone of Yakutia was carried out. In the field season of 2017 water samples were taken, and hydrological characteristics measurements of the Krasnyi and Lev. Yt-Yuryakh brooks were conducted. Work on the analysis of the regime of small rivers of the considered territory has not been carried out previously. The considered water bodies are located in the middle flow of the Indigirka River. They belong to the category of small seasonal watercourses, the watercourses freeze to the bottom every year. According to the ratio of active hydrological posts per 1 km² of catchment area, this area is not studied sufficiently: on average, there are 5000 km² per post. For small watercourses with intermittent flow regime, the area is virtually unexplored territory. Regional maps and coefficients of the flow calculation methods for unexplored rivers were used in the calculation of flow by stream points in the absence of hydrological observations. The distribution of runoff parameters of small streams in mountainous areas is heterogeneous depending on catchment areas and additionally depends on a number of related factors: elevation, exposure slopes, and watershed salinity. Therefore, the averaging of the accepted parameters is performed for the calculations. Regional schematic charts along with verification of calculated runoff modules according to small watercourses observation data was used in calculation minimum runoff of summer-autumn low water. In the studied watercourses their hydrochemical state was studied.

 $Keywords:\ water\ bodies,\ small\ rivers,\ hydrology,\ annual\ runoff,\ water\ consumption,\ hydrochemistry$ 

Для оценки изменения химического состава водных объектов с учетом возможного воздействия производственных процессов были проведены натурные обследования малых рек в арктической зоне Якутии. Рассматриваемые водотоки расположены в бассейне р. Индигирка на территории Оймяконского улуса Республики Саха (Якутия). Основу промышленной специализации улуса составляет добыча

цветных металлов. Минерально-сырьевая база района в составе Верхне-Индигирского горнопромышленного района включает 4 месторождения золотосурьмяных руд и 287 месторождений золота (в том числе 13 рудных, 274 россыпных) [1].

Территория бассейна р. Индигирки принадлежит к Верхоянско-Колымской горноскладчатой области. Река Индигирка образуется слиянием рек Туор-Юрях и Та-

рын-Юрях и впадает в Восточно-Сибирское море. Термический режим водотоков определяется главным образом климатическими условиями. Для бассейна Индигирки температура варьируется в среднем от 6,0 до 14,5 °C. На малых водотоках она опускается ниже 6°. При глубинах менее 2 м водотоки могут промерзнуть до дна [2]. Внутригодовое распределение стока на малых реках крайне неравномерное. Период наличия стока составляет 5 месяцев - с мая по сентябрь. С октября по апрель устанавливается период зимней межени с отсутствием стока. В весенне-летний период сток также нестабильный. Весеннее половодье заканчивается в конце июня и наступает период летне-осенней межени, прерывающейся дождевыми паводками, как правило, более многоводными, чем половодье. Количество паводков зависит от погодных условий. Нередко период летне-осенней межени на малых водотоках устанавливается надолго, продолжительность может достигать более месяца. В засушливые сезоны сток на малых реках и ручьях в этот период прекращается.

По соотношению гидрологических постов на 1 км<sup>2</sup> площади водосбора данная территория относится к недостаточно изученной: в среднем здесь на один пост приходится 5000 км<sup>2</sup>. Для малых водотоков с периодическим режимом стока, район практически неизученная территория.

Руч. Красный и р. Лев. Ыт-Юрях расположены в среднем течении р. Индигирка. Протекают в гористой местности, средняя густота речной сети для данного района составляет 0,8–0,9 км/км². Относятся к категории малых водотоков сезонного типа. Рассматриваемые водотоки ежегодно промерзают до дна.

Вычисления расхода воды руч. Красный и р. Лев.Ыт-Юрях произведено аналитическим методом по формуле

$$Q = KV_{1}\gamma_{0} + \left(\frac{v_{1} + v_{2}}{2}\right)\gamma_{1} + ... + \left(\frac{v_{n-1} + v_{n}}{2}\right)\gamma_{n-1} + KV_{n}\gamma_{n},$$
(1)

где Q – полный расход воды;

 $V_1, V_2, \dots V_n$  – средние скорости на скоростных вертикалях  $1, 2, \dots, ;$ 

 $\gamma_0$  — площадь водного сечения между берегом и первой скоростной вертикалью;

 $\gamma_1$  – площадь водного сечения между вертикалями № 1 и № 2 и т.д.;

 $\gamma_{\scriptscriptstyle n}$  – площадь между вертикалью и берегом.

Коэффициент К для скоростей  $V_1$ ,  $V_n$  на скоростных вертикалях N = 1 и N = 1 п принят нами для данного случая равным 0,7.

Расчет стока по заданным створам выполнен по методикам для неизученных рек при отсутствии гидрологических наблюдений. При подборе расчетных параметров использованы региональные карты и коэффициенты по методикам, изложенным в [3]. Распределение стоковых параметров малых водотоков в горных районах неоднородно и главным образом зависит от площадей водосборов, а также дополнительно зависит от ряда сопутствующих факторов: высоты местности, экспозиции склонов, уклона русел и залесенности водосбора. Поэтому для расчетов выполнено осреднение принимаемых параметров.

По региональным картам распределения параметров годового стока средний годовой модуль стока рассматриваемого района варьирует в пределах 6—8 л/с\*км², коэффициент вариации Cv = 0,4. Дополнительно выполнено уточнение расчетных модулей стока по данным наблюдений на малых водотоках территории. Расчет значений среднегодовых расходов для р. Лев. Ыт-Юрях и руч. Красный выполнен по формуле

$$Q\% = F \times M\%,$$
 (2)

где Q% – средний годовой расход воды заданной обеспеченности, в  $м^3/c$ ;

F – Площадь водосбора до замыкающего створа, км<sup>2</sup>

М% – модуль стока расчетной обеспеченности.

Расчетные значения средних годовых расходов воды обеспеченностью от 5% до 99% обеспеченности приведены в табл. 1.

Для расчета максимальных расходов воды весеннего половодья (табл. 2) на неизученных реках принята региональная редукционная эмпирическая формула

O1% = Ko\*h1%\*F/(F+1)
$$^{0.17}$$
, (3)

где Q1% – мгновенный максимальный расход половодья 1%-ной обеспеченности, в  $M^3/C$ ;

h1% – слой суммарного стока за половодье 1% -ной обеспеченности, в мм;

Ко – параметр, характеризующий дружность весеннего половодья. Определяется по региональной карте [3] и данным реканалогов;

 $F-\Pi$ лощадь водосбора до замыкающего створа, км $^2$ .

Принятые расчетные параметры: р. Лев. Ыт-Юрях Ko = 0,0055; h1% = 150 мм; руч. Красный Ko = 0,0048; h1% = 150 мм.

Таблица 1

Расчетные значения средних годовых расходов воды, м<sup>3</sup>/с

пост/обеспеченность, %	5	10	25	50	75	95	99
Модуль стока. $\pi/c*\kappa m^2$	10,0	8,5	6,5	5,0	4,0	3,5	1,5
р. Лев. Ыт-Юрях	0,59	0,50	0,38	0,30	0,24	0,20	0,09
руч. Красный	0.061	0.052	0.040	0.031	0.024	0.021	0.009

**Таблица 2** Расчетные значения максимальных расходов воды весеннего половодья, м<sup>3</sup>/с

пост/обеспеченность,%	1,0	2,0	5,0	10	25
переходные коэфф-ты	1,0	0,89	0,74	0,64	0,46
р. Лев. Ыт-Юрях	24,2	21,5	17.9	15,5	11,1
руч. Красный	3,16	2,91	2,34	2,02	0,15

Расчет максимального срочного расхода воды дождевого паводка для рек с площадями водосборов от 200 до 50000 км² выполнен по редукционной формуле, предлагаемой в [3] (табл. 3).

$$Q1\% = B1\% *F/(F+1)^{0.35},$$
 (4)

где Q1% — мгновенный максимальный расход дождевого паводка 1%-ной обеспеченности, в  $M^3/C$ ;

В1% — максимальный модуль притока (сборный параметр), в м³/с\*км². Определяется по региональной карте с уточнением обратным пересчетом из формулы по данным рек-аналогов.

Принятые расчетные параметры: р. Лев. Ыт-Юрях В1 % = 4,5 м $^3$ /с\*км $^2$ ; руч. Красный В1 % = 2,5 м $^3$ /с\*км $^2$ .

Так же как и для среднего годового стока, в расчете минимальных расходов воды летне-осенней межени использованы региональные карты-схемы с уточнением расчетных модулей стока по данным наблюдений на малых водотоках территории. Расчет значений минимальных меженных расходов выполнен по формуле (2) (табл. 4).

Определение расчетных отметок высших уровней воды р. Лев. Ыт-Юрях и руч. Красный выполнено по значениям максимальных расходов дождевых паводков 1%-ной обеспеченности.

Расчет произведен в Программном комплексе «Profiles-2012», обеспечивающем выполнение расчетов в соответствии с требованиями СП 33-101-2003 [4], пособий и руководств, регламентирующих гидрологическое проектирование. Программой рассчитываются отметки водной поверхности по заданному расходу воды. Исходными данными являются: профиль морфоствора (отметки и расстояние), шероховатость участков морфоствора, уклон реки, расходы

воды. Расчет гидравлических параметров морфоствора осуществляется на основании уравнения Шези:

$$v = C\sqrt{h_{cp} \cdot \iota}, \qquad (5)$$

где С – коэффициент, учитывающий потерю энергии на преодоление сил трения, зависящих от степени шероховатости и поперечных размеров русла, определяется по формуле Маннинга:

$$C = (h_{\rm cp}^{1/6})/n,$$
 (6)

где  $h_{\rm cp}$  — средняя глубина участка, м; i — уклон реки, в долях; n — шероховатость участка, определяемая по таблице М.Ф. Срибного.

Отметка наивысшего расчетного уровня воды, соответствующего заданному максимальному расходу воды 1%-ной обеспеченности:

Отбор проб воды на химический анализ производился согласно ГОСТ Р 51592-2000 [5]. Минерализация воды по сухому остатку руч. Красный –  $107 \text{ мг/дм}^3$  и р. Лев. Ыт-Юрях –  $52 \text{ мг/дм}^3$  сравнительно небольшая, чем, как отмечается в [3], отличается верхнее течение реки Индигирки. В то же время отмечено повышенное содержание ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ : 9,28 мг/дм³ в руч. Красном и 7,39 мг/дм³ в р. Лев. Ыт-Юрях.

По классификации А.М. Никанорова [6] вода р. Лев. Ыт-Юрях (рН = 5,9) относится к слабокислым водам, а вода руч. Красный (рН = 6,7) – к нейтральным. Из биогенных соединений отмечается более высокое содержание аммония: руч. Красный — 1,2 ПДК, р. Лев. Ыт-Юрях — 1,5 ПДК и железа: руч. Красный — 6,4 ПДК и р. Лев. Ыт-Юрях — 2,8 ПДК. Содержание в этом районе железа было отмечено и ранее. Железо выпадает в виде бурого рыхлого осадка.

Концентрация нефтепродуктов в воде руч. Красный и р. Лев. Ыт-Юрях значительно ниже  $\Pi Д K - 0,05 \text{ мг/дм}^3$  и составляет соответственно  $0,0092 \text{ мг/дм}^3$  и  $0,0091 \text{ мг/дм}^3$ .

Тяжелые металлы в отличие от органических загрязняющих веществ, подвергающимся процессам разложения, способны лишь к перераспределению между отдельными компонентами водных систем. В природной воде они существуют в форме коллоидных взвесей, растворов, дисперсий, которые могут быть представлены самыми разнообразными веществами и соединениями.

Медь, попадающая в воду в результате химического выветривания горных пород и минералов, превышает ПДК в руч. Красный в 3,1 раза, в р. Лев. Ыт-Юрях — в 1,9 раза.

Марганец часто сопровождает железо и вместе с ним выпадает в осадок, он более ядовит, чем железо. Марганец оказывает влияние на численность водных организмов, особенно на развитие фитопланктона. Содержание марганца в воде руч. Красный превышает ПДК в 6,2 раза, р. Лев. Ыт-Юрях – в 6,7 раза. Основными источниками его поступления в поверхностные воды являются железомарганцевые руды и другие минералы.

В результате натурных измерений гидрологических показателей в полевой сезон 2017 г., отбора проб воды и их анализа, а также гидрологических расчетов установлены следующие сведения о водных объектах (табл. 5). В таблице использованы нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения [7].

**Таблица 3** Расчетные значения максимальных расходов воды дождевых паводков,  ${\rm M}^3/{\rm c}$ 

пост/обеспеченность,%	1,0	2,0	5,0	10	25
переходные коэфф-ты	1,0	0,93	0,83	0,71	0,57
р. Лев. Ыт-Юрях	70,4	65,5	58,4	50,0	40,1
руч. Красный	7,66	7,12	6,36	5,44	4,37

Расчетные значения минимальных 30-суточных расходов воды, м $^3$ /с

пост/обеспеченность, %	50	75	95	97	99
Модуль стока. л/с*км <sup>2</sup>	5,0	3,5	1,5	0,5	0,2
р. Лев. Ыт-Юрях	0,295	0,21	0,089	0,030	0,012
руч. Красный	0,031	0,021	0,009	0,003	0,001-0,000

**Таблица 5** Гидрологическая и гидрохимическая характеристика руч. Красный и р. Лев. Ыт-Юрях

Гидрологические и гидрохимические	руч. Кра	сный	р. Лев. Ы	т-Юрях	
показатели	натурные измерения	Превышение ПДК	натурные измерения	Превышение ПДК	
Среднегодовой расход воды	0,031 м³/с		0,3 м³/с		
Расход воды 95% обеспеч.	0,021 м³/с		0,2 м³/с		
Уклон реки	37‰		15,2%		
Средняя скорость	0,075м/с		0,36 м/с		
Средняя глубина	0,05 м		0,13 м		
Фоновое содержание взвешенных веществ	410 мг/дм <sup>3</sup>		264 мг/дм <sup>3</sup>		
Фоновое содержание нефтепродуктов	0,0092 мг/дм <sup>3</sup>		0,0091 мг/дм <sup>3</sup>		
Фоновое содержание железа	0,64 мг/дм <sup>3</sup>	6,4	0,282 мг/дм <sup>3</sup>	2,8	
Фоновое содержание меди	0,00313 мг/дм <sup>3</sup>	3,1	0,00194 мг/дм <sup>3</sup>	1,9	
Фоновое содержание цинка	0,062 мг/дм <sup>3</sup>	6,2	$0,0058 \text{ мг/дм}^3$		
Суммарная альфа-бета активность	соответствует критериям радиационной безопасности HPБ-99/2009				

### Выводы

Ручей Красный — левый приток р. Ыт-Юрях, впадает на 5 км от устья, длина 3,9 км, площадь водосбора в створе гидрометрических работ 6,1 км². Руч. Красный рыбохозяйственный водоток. Наблюдения на руч. Красном ранее не проводились.

Река Лев. Ыт-Юрях — составная часть реки Ыт-Юрях, её устье в месте слияния с рекой Правый Ыт-Юрях является началом реки Ыт-Юрях. Длина водотока 14 км, площадь водосбора в гидростворе 39 км². Река Лев. Ыт-Юрях — рыбохозяйственный водоток. Гидрологические наблюдения на р. Лев. Ыт-Юрях ранее не проводились.

### Список литературы

- 1. Оймяконский улус (район) / Официальный информационный портал Республики Саха (Якутия) [Электронный ресурс]. URL: http://old.sakha.gov.ru/node/15109 (дата обращения: 12.02.2018).
- 2. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Индигирка. Книга 1. Общая характеристика речного бассейна / Утверждена приказом Ленского бассейнового водного управления Росводресурсов от 19 июня 2014 г. № 76-п. Якутск 2014. 85 с. [Электронный ресурс]. URL: http://lbvu.ru/files/Книга %201Инди.pdf (дата обращения: 12.02.2018).
- 3. Ресурсы поверхностных вод СССР, т. 17, Лено-Индигирский район / под ред. М.С. Протасьева. Л.: Гидрометео-издат, 1972. 651 с.
- 4. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Взамен СНиП2.01.14-83 [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200035578 (дата обращения: 12.02.2018).
- 5. ГОСТ Р 51592-2000 Вода. Общие требования к отбору проб [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200008006 (дата обращения: 12.02.2018).
- 6. Никаноров А.М. Гидрохимия. СПб.: Гидромете<br/>оиздат, 2001. 444 с.

7. Приказ Минсельхоза РФ от 13.01.2016 г. № 552, зарегистрирован в Минюсте РФ 13.01.2017 № 45203 [Электронный ресурс]. — URL: http://docs.cntd.ru/document/420389120 (дата обращения: 18.04.2018).

#### References

- 1. Oimiakonskii ulus (raion) / Ofitsial'nyj informatsionnyj portal Respubliki Saha (Jakutija). [Oymyakonsky ulus (district) / The official information portal of the Republic of Sakha (Yakutia)]. URL: http://old.sakha.gov.ru/node/15109 (accessed 12 February 2018).
- 2. Skhema kompleksnogo ispol'zovaniia i okhrany vodnykh obektov basseina reki Indigirka. Kniga 1. Obschaja harakteristika rechnogo bassejna / Utverzhdena prikazom Lenskogo bassejnovogo vodnogo upravlenija Rosvodresursov ot 19 ijunja 2014 g. № 76-p. Jakutsk, 2014. 85 p. [Scheme of integrated use and protection of water bodies in the Indigirka river basin. Book 1. General characteristics of the river basin/Approved by the order of the Lena basin water management rosvodresursov from>19» June 2014 № 76-p. Yakutsk, 2014. 85 p.]. Available at: http://lbvu.ru/files/Книга %201Инди.pdf (accessed 12 February 2018).
- 3. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR, t.17, Leno-Indigirskij rajon / pod red. M.S. Protas'eva [Surface water resources of the USSR, vol. 17, Lena-Indigirka district/ ed. by M.S. Protasov]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1972. 651 p.
- 4. SP 33-101-2003. Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik. Vzamen SNiP2.01.14-83 [SP 33-101-2003. Determination of basic design hydrological characteristics. Instead Snip2.01.14-83]. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200035578 (accessed 12 February 2018).
- 5. GOST R 51592-2000 Voda. Obshchie trebovaniia k otboru prob [GOST R 51592-2000 Water. General requirements for sampling]. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200008006 (accessed 12 February 2018).
- 6. Nikanorov A.M. Gidrokhimiia [hydrochemistry]. St. Petersburg, Gidrometeoizdat, 2001, 444.
- 7. Prikaz Minselhoza RF ot 13.01.2016 g. №552 zaregistrirovan v Minyuste RF 13.01.2017 № 45203[The order of Ministry of Agriculture of the Russian Federation from 13.01.2016 № 552, registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation 13.01.2017 № 45203]. URL: http://docs.cntd.ru/document/420389120 (accessed 18.04.2018).

УДК 551.4:630(571.51/.52+571.6)

## ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА РАЗВИТИЕ ГЕОСИСТЕМ ПЛАКОРОВ ЮГА СРЕДНЕЙ СИБИРИ И ГОР ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Скрыльник Г.П.

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, e-mail: skrylnik@tig.dvo.ru

Лесным пожарам в пределах юга Средней Сибири и гор Дальнего Востока, одновременно с «вызовом» локальной деградации вечной мерзлоты в днищах долин, принадлежит громадная морфогенетическая роль в преобразовании общего облика земной поверхности и внутреннего содержания геосистем обширных плакорных и склоновых территорий. Трансформация деятельной поверхности (лесной растительности, напочвенного покрова, безлесных пространств с редким подростом и других) происходит из-за низовых (кардинально не затрагивающих древесный ярус) и общих пожаров (уничтожающих древесную растительность и напочвенный покров и вызывающих выгорание верхнего гумусового - самого плодородного почвенного слоя и резкое его иссушение). В Средней Сибири на обширных плакорных пространствах пожары вызывают формирование ярких стадийно-динамических форм мелкополигонального рельефа (по терминологии В.М. Дэвиса, стадии юности, молодости, зрелости и дряхлости). В горах юга Дальнего Востока на склонах лесные пожары приводят к кардинальному изменению (усилению или ослаблению) интенсивности склоновых процессов (десерпции, солифлюкции, курумообразования и других) - после сведения лесной растительности из-за прямого воздействия (разрыхляющего или скрепляющего) на рельефообразующие субстраты и последующей трансформации исходной гидротермиики деятельной поверхности (в направлении иссушения деятельного слоя почвогрунтов). В целом пожары уничтожают прежние геосистемы и на их месте вызывают появление новых геосистем, т.е. по отношению к трансформируемой территории выступают с позиции уничтожения старого и одновременно созидания нового. Естественные процессы восстановления геосистем до исходных состояний сейчас активны, и, если не будет постороннего вмешательства из-за пожаров или рубок, они относительно быстро восстановятся и следы присутствия мелкополигонального рельефа на поверхности исчезнут и останутся лишь на глубине, «в ископаемом состоянии»

Ключевые слова: лесные пожары, геосистемы, Средняя Сибирь, Дальний Восток, мелкополигональный рельеф, склоновые процессы

# THE INFLUENCE OF THE FOREST FIRES ON DEVELOPMENT OF GEOSYSTEMS OF THE FLAT INTERFLUVES OF THE SOUTH OF MIDDLE SIBERIA AND THE MOUNTAINS OF THE FAR EAST Skrylnik G.P.

Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: skrylnik@tig.dvo.ru

Within the south of Middle Siberia and the mountains of the Far East, the forest fires coupled with «the challenges» of local degradation of permafrost in the bottoms of valleys, play a great morphogenetic role in the transformation of a general outlook of the earth surface and internal composition of the geosystems of the extensive flat interfluves and the slope territories. Transformation of an active surface (forest vegetation, a soil cover, nonforest spaces with rare undergrowth and others) occurs because of the local fires (which do not damage cardinally an under wood) and the general ones (destroying wood vegetation and a soil cover and causing burning out of the upper humus soil layer, most fertile, and its dramatic drying out). In Middle Siberia on extensive flat interfluves spaces the fires cause formation of the bright stage-dynamic forms of a small polygonal relief (by V.M .Devis' terminology, the stages of juvenility, youth, maturity, and anility). In the mountains of the south of the Far East on the slopes the forest fires lead to a cardinal change (to strengthening or weakness) of intensity of the slope processes (deserption, solifluction, curum-formation and others) after wood vegetation disappears, because of the direct influence (loosening or joining) on the relief-forming substrata and the subsequent transformation of initial hydrothermal features of an active surface (to the direction of drying out of an active soil- ground layer). As a whole, the fires destroy the former geosystems and on their place new geosystems appear, i.e. in relation to a transformed territory they destruct the old geosystems and at the same time they create the new ones. The natural processes of restoration of geosystems to initial conditions are active now and if an extraneous intervention does not happen, they will be restored rather quickly and the traces of a small polygonal relief on the surface will disappear and remain only «under a fossil condition».

Keywords: forest fires, geosystems, Middle Siberia, the Far East, a small polygonal relief, the slope processes

Лесным пожарам в пределах юга Средней Сибири и гор Дальнего Востока, полностью или частично уничтожающим лесные массивы, принадлежит громадная морфогенетическая роль в преобразовании общего облика и внутреннего содержания отдельных природных объектов.

Цель исследования: в основном вскрыть и проследить пирогенные морфодинамические эффекты: растрескивания почвогрунтов; формирования мелкополигонального рельефа и в дальнейшем смены стадий его развития (по терминологии В.М. Дэвиса — юности, молодости, зрелости и дряхлости);

возникновения грунтовых жил и грунтовых потеков, а также типов склоноформирования на площадях лесных пожаров в различных и меняющихся пространственно-временных природно-климатических обстановках — юга Средней Сибири [1] и в горах юга Дальнего Востока [2].

#### Методы исследования

Тематические маршрутные и полустационарные исследования выполнены с применением следующих методов: сравнительно-географического, информационного, геофизического и палеогеографического.

### Результаты исследования и их обсуждение

А. Юг Средней Сибири. Для юга Средней Сибири, отличающегося континентальным климатом и неоднократно «площадным» выгоранием лесной растительности [3, 4], характерно растрескивание горных пород, обусловленное как резким сезонным охлаждением (морозобойные трещины), так и иссушением грунтов (трещины усыхания как из-за пирогенного воздействия - результата интенсивных низовых и общих пожаров, так и в ходе морозной кристаллизации влаги в грунтах). Процессы трещинообразования приводят к формированию полигонального рельефа и микрорельефа. Выяснение причин и условий их формирования в различных природных обстановках представляет значительный теоретический и практический интерес.

Трансформация деятельной поверхности (лесной растительности, напочвенного покрова, безлесных пространств с редким подростом и других) происходит из-за низовых (кардинально не затрагивающих древесный ярус) и общих пожаров (уничтожающих древесную растительность и напочвенный покров). Общие пожары, в отличие от низовых, не только полностью уничтожают растительный покров, но и приводят к выгоранию верхнего гумусового (самого плодородного) почвенного слоя и к резкому его иссушению. Почвогрунты в условиях пирогенных резких перепадов температур и в зависимости от литологических разностей и присутствия в них гуминовых кислот (в ходе замерзания которых из-за денатурации возникают труднорастворимые органо-минеральные соединения) уплотняются в своем объеме и растрескиваются на различную глубину (часто на всю мощность) почвенного слоя на микроотдельности полигонального плана. В дальнейшем, в течение зимнего периода, открытые пространства сильно выхолаживаются и как результат – в ходе морозобойных процессов растрескиваются на относительно более крупные блоки-полигоны (накладываясь на первые) и по глубине уже на всю мощность деятельного слоя.

Свежие гари очень быстро трансформируются в структурно организованные (из-за возникновения полигональной сетки трещин) пространства мелкополигонального рельефа. Уже после 1–2 лет на гаревых участках появляются абрисы зарождающегося нового облика территории (рис. 1). Этим самым они отличаются от соседних участков, не затронутых пирогенными сменами растительности. Возникший рельеф характеризуется специфическим обликом (наличием блоков-полигонов) и характерным развитием под межблочными понижениями грунтовых жил с гумусовыми потеками [1].

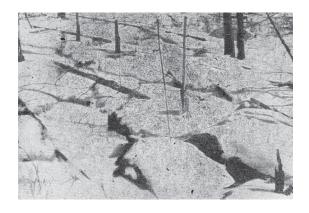


Рис. 1. Мелкополигональный рельеф на свежей гари (давность пожара 2 года). На поверхности слой (1–2 см) свежевыпавшего снега. Фото автора (02.10.1962 г.; бассейн р. Подкаменной Тунгуски в р-не дер. Кежма)

Под мелкополигональным рельефом мы понимаем положительные микроформы с грунтовыми жилами под межблочьями, закономерно построенные в плане и предопределенные в ходе ежегодно повторяющихся циклов «увлажнения - высыхания» и «замерзания - протаивания» почвогрунтов. Грунтовые жилы представляют собой образования, возникающие в результате заполнения трещин усыхания или морозобойных осыпающимися или сползающими сверху вниз рыхлыми отложениями. При заполнении трещин усыхания образуются относительно небольшие темноокрашенные внедрения в почвогрунты, названные нами грунтовыми клинышками, переходящими книзу в гумусовые потеки. Под гумусовыми потеками мы понимаем только грунтовые образования, возникшие вдоль трещин и на

их «оконечностях», в результате миграции по глубине гумусовых веществ и гуминовых кислот вместе с почвенными растворами и последующей здесь их денатурации, приводящей к прокрашиванию грунтов. Гумусовые потеки, в отличие от темноокрашенных грунтовых жил и клинышков, имеют более светлую окраску.

Такие образования встречаются на водораздельных (в различных по выраженности формах) и склоновых поверхностях (обычно в редуцированных и вытянутых по уклону «полосчатых» формах, из-за солифлюкционно-дефлюкционного течения грунтов), в различных по составу и генезису грунтах. Они совершенно не отмечаются в песчаных отложениях и на поймах.

Территориально они наиболее хорошо морфологически выражены и широко развиты на Ангаро-Среднетунгусском междуречье. Общие их особенности представлены в следующем виде. Чаще они присутствуют здесь в различной степени выпуклыми разновысотными (от 0-5 до 30 см) блоками-полигонами (в поперечнике от 25–30 см до 1,5–2,0 м), ограниченными ложбинками (межблочными понижениями), ширина которых составляет в среднем 20-25 см. Межблочным понижениям в разрезе соответствуют грунтовые тела (жилы) - внедрения верхнего горизонта в нижележащую породу. Ширина этих внедрений вверху равна в среднем 20-25 см, а глубина их проникновения составляет 60-65 см (от 25 см до 1,2 м). Форма их изменяется в зависимости от выраженности мелкополигонального рельефа. Так, под ложбинами, разделяющими молодые малоредуцированные блоки-полигоны (стадия молодости), отмечаются клиновидные грунтовые жилы. Если блоки-полигоны редуцированы в большей степени (стадия зрелости), то под межблочьями вскрываются жилы лопастной формы (узкие карманообразные внедрения). В случае значительной редуцированности форм (стадия дряхлости) межблочьям в разрезе отвечают широкие карманообразные грунтовые тела. В соответствии с различиями в форме грунтовых внедрений отмечается и неодинаковый характер перехода от них к вмещающей породе: у клиновидных жил – четкий с узкой переходной зоной; у лопастных карманообразных внедрений – постепенный с относительно широкой переходной зоной. Вмещающие породы всегда имеют большую плотность, чем отложения в жилах-внедрениях (возрастающую при этом от клиновидных к карманообразным). В жилах часто отмечаются обильные включения угольков, колеблющиеся в широких пределах. В жилах клиновидной формы угольки распределены равномерно, а в карманообразных внедрениях – только в их центральных частях.

Грунтовые внедрения в нижней части переходят в гумусовые потеки, проникающие на различную глубину – от 70–90 см до 1,2-1,5 м. В отличие от жил в них отсутствуют растительные остатки и угольки и отмечается меньшее содержание гумуса. Ширина гумусовых потеков изменяется от 1-2 см до 8-10 см. Под клиновидными жилами они имеют более четкие очертания и соответственно меньшую ширину, чем под карманообрзными внедрениями. Потеки бывают в разной мере искривлены, но чаще они вертикальны. Иногда они представляют собой самостоятельные различных очертаний гумусированные прослойки грунта, не соединяющиеся с жилами.

Характер пожаров на изученных автором участках устанавливался в ходе совместных наших исследований по методике, предложенной А.С. Карпенко и Ю.О. Медведевым [5]. Такие предметные определения выполнялись: по рисунку древесных спилов – прослеживалась история пожаров (давность, сила, количество) и возраст деревьев, выросших после пожаров; по изучению угольков в почве (их количества, места приуроченности в жилах, сохранности, размеров и глубины залегания) – определялась относительная интенсивность пожаров.

Зависимость между давностью и интесивностью пожаров, с одной стороны, и выраженностью рассматриваемых в статье образований - с другой, установливалась и проверялась на участках, однотипных по основным параметрам (местоположению, литологии и мощности рыхлых отложений, уклонам, дренажу, экспозиции и т.д.), но различающихся по давности имевших здесь место интенсивных пожаров. Приводимые ниже обобщенные описания (большей частью в виде разрезов) мелкополигонального рельефа, грунтовых жил и гумусовых потеков относятся к средним частям пологих склонов (2-3°) южной экспозиции, сложенных слабоувлажненными сугинками мощностью 1–2 м. Эти местоположения заняты различными производными растительных группировок, представляющих собой стадии восстановления лесов после интенсивных общих пожаров.

Ряд последовательных возрастных стадий мелкополигонального рельефа и сопровождающих его соответствующей выраженности грунтовых жил и гумусовых потеков приводится ниже.

- 1. Выровненные водораздельные участки в бассейне рек Цембы и Терины (правые притоки р. Чадобца, правого притока среднего течения р. Ангары), ранее не испытывавшие пирогенных смен в течение возрастного времени темнохвойной тайги и характиризовавшиеся отсутствием мелкополигонального рельефа с грунтовыми жилами, в июле – августе 1962 г. в ходе непосредственных наблюдений автора подверглись интенсивным пожарам. Фактически после пожара был обследован один из участков и установлено следующее. Здесь после удаления слоя золы на поверхности была обнаружена сеть хорошо выраженных полигонов (начальная составляющая стадии юности), образованная трещинами пирогенного усыхания. Полигоны (пяти-, шестиугольной формы) имели ровную поверхность; размеры в поперечнике составляли 10-30 см (в среднем 15-20 см). Тонкие трещины, при ширине в верхней части в среднем 0,1-0,3 см (единичные до 0,7-1,0 см), проникали до глубины 10-15 см и по вертикали до 5-6 см были засыпаны пеплом (угольки встречены и глубже). Гумусовые потеки, отсутствовали.
- 2. В том же районе на аналогичных участках, но с послепожарным периодом до 3 лет вышеописанные полигоны имели слегка выпуклую поверхность (стадия юности). На месте трещин усыхания отмечались неширокие (1–2 см) и неглубокие по вертикали (6–10 см) темно-серые грунтовые клинышки, часто разбитые в центральной части на всю мощность узкими (1-2 мм) полыми или частично заполненными грунтовой массой трещинками. Клинышки выполнены хорошо гумусированными приповерхностными отложениями, относящимися к гумусовому слою почвенного горизонта и содержащими много угольков. На этих же участках местами отмечалась и полигональная сеть больших полых трещин, оконтуривающих более крупные полигоны (пяти-, шестиугольники, в поперечнике от 0,5 до 0,8 м), наложенных на сеть ранее описанных мелких. Гумусовые потеки вдоль этих полых трещин отмечались только в самой нижней их части.
- 3. На выровненных участках в бассейне рек Оскобы и Бивы (междуречье рек Чадобца и Оскобы), где давность пожара составляла 10–20 лет, развиты пяти-, шестиугольные слегка выпуклые и слабо редуцированные (углы слегка закруглены) полигоны (стадия молодости). Их размеры составляли в по-

- перечнике 60–80 см, превышения над межблочьями до 10 см и ширина понижений не более 10 см. Эти полигоны включали в себя группы мелких полигонов с грунтовыми клинышками и редкими гумусовыми потеками. В разрезе межблочьям соответствуют узкие клиновидные грунтовые жилы с полыми вертикальными извилистыми в центральной части трещинками, шириной до 0,5 см (рис. 2) и выполненные неплотным черным средним суглинком, с большим содержанием угольков и слаборазложившихся остатков хвои и листьев. Глубина их проникновения равна 0,5–0,7 м.
- 4. На участках с давностью интенсивных пожаров в 60–70 лет (в верховьях р. Илима и р. Бивы правого притока р. Чадобца) и хорошим лесовозобновлением отмечается обычно редуцированный мелкополигональный с выпуклыми формами рельеф (рис. 3, 4) (стадия зрелости).
- 5. В пределах участков, где со времени последнего интинсивного пожара прошло 110–120 лет и более (в частности, в верховьях р. Иркинеевой правого притока р. Ангары), отмечается сильно редуцированный (вплоть до округлой формы в плане) мелкополигональный рельеф (стадия дряхлости). Под межблочьями широкие карманообразные заходы верхнего гумусированного почвенного слоя; полые трещинки не отмечаются (рис. 5).

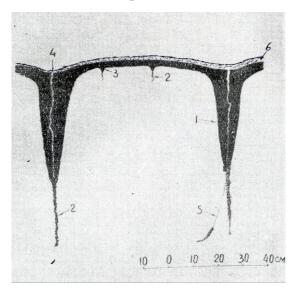


Рис. 2. Разрез мелкого блока-полигона на участке с давностью пожара 15 лет. Условные обозначения: 1 — клиновидные грунтовые жилы; 2 — гумусовые потеки; 3 — грунтовые клинышки; 4 — полая трещина в грунтовой жиле; 5 — трещина, вдоль которой формиируется гумусовый потек; 6 — напочвенный покров



Рис. 3. Мелкополигональный рельеф с хорошо выраженными выпуклыми формами. Фото автора (август 1963 г.)

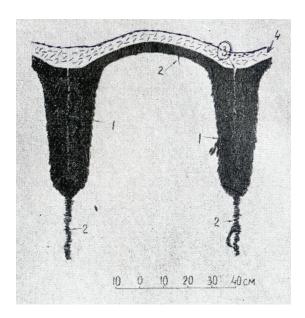


Рис. 4. Разрез мелкого блока-полигона на участке с давностью пожара 60 лет. Условные обозначения: 1— грунтовые жилы лопастной формы; 2— гумусовые потеки, отходящие от грунтовых жил, заполнившие нижнюю часть полых трещин; 3— полая трещина в жиле; 4— напочвенный покров

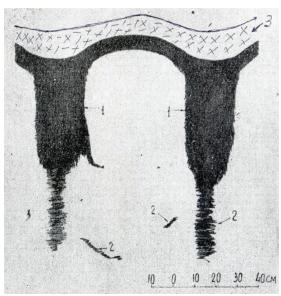


Рис. 5. Разрез мелкого блока-полигона на участке с давностью пожара 110 лет. Условные обозначения: 1 — грунтовые жилы карманообразной формы; 2 — гумусовые потеки в нижней части былых полых трещин; 3 — напочвенный покров

6. На участках, где давность пожаров составляет 170–200 и более лет (в частности, на междуречьи р. Карабулы и р. Муры – левые притоки в низовьях р. Ангары) и прекрасного восстановления темнохвойной тайги, мелкополигональный рельеф (овальные слабо выпуклые бугры) сильно реду-

цирован и на поверхности морфологически практически не выражен, из-за наличия мощного травяно-мохового покрова.

7. На участках, где было несколько интенсивных пожаров различной четко фиксируемой давности (например, в районе дер. Кежма – бассейны рек Ермаковой

и Бурунды и других), мелкополигональный рельеф имеет своеобразный облик. Он особенно хорошо выражен там, где давность последнего интенсивного пожара равна 10-20 годам. Под мощным напочвенным покровом из хорошо разложившихся хвойных иголок и мхов с добавлением редких лишайников (по мощности более 12 см) обнаруживаются овальные слабо выпуклые бугры. Под межблочьями, кроме широких карманообразных грунтовых внедрений, в ряде случаев наблюдаются двухъярусные структуры. Здесь узкие грунтовые тела вдоль не всегда заполненных полых вертикальных трещин наложены на широкие карманообразные формы и проникают на большую глубину (рис. 6).

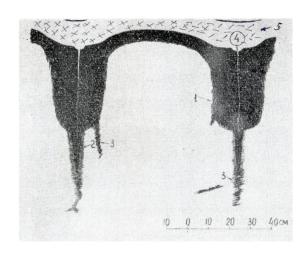


Рис. 6. Разрез мелкого блока-полигона на участке, испытавшем несколько пожаров, а давность последнего общего составляла около 12 лет, в р-не дер. Кежма. Условные обозначения: 1 — карманообразные грунтовые внедрения; 2 — клиновидная более молодая грунтовая жила; 3 — гумусовые потеки; 4 — полая трещина; 5 — напочвенный покров

- 8. Распространение и выраженность мелкополигонального рельефа и сопутствующих ему грунтовых тел-внедрений, в пределах различной степени «восстановленных залесенных участков», связаны не только с пожарами, но и зависят от ряда постоянно взаимодействующих факторов природной среды:
- а) условий увлажнения территории (чем суше, тем лучше выражен; рис. 7);
- б) мощности рыхлых отложений (чем она меньше, тем выраженность лучше);
- в) литологии пород (на глинах и тяжелых или средних суглинках размеры блоков больше, чем на участках с легкосуглинистыми или супесчаными грунтами; на участках песчаных отложений они отсутствуют);



Рис. 7. Характерное строение мелкополигонального рельефа в разрезе (давность последнего пожара около 15 лет — после первого, в 170-180 лет). Фото автора (август 1962 г.; вблизи дер. Кежма)

- г) экспозиции участков (с северной экспозицией связаны плосковыпуклые и более крупные с меньшими превышениями над межблочьями, а с южной более выпуклые формы;
- д) наклона поверхности с его увеличением ухудшается выраженность и нарушается размерность (к уменьшению) мелкополигонального рельефа. На участках, где крутизна постепенно увеличивается до 5–6°, несколько блоков «сливаются» вместе; при дальнейшем увеличении здесь наклона (более 5–6°) рельеф переходит в «продольнополосный»;
- е) распаханности территории. Распаханные несколько лет назад участки, на которых прежде был развит мелкополигональный рельеф, отличаются четкой ячеистостью почвенного покрова, хорошо прослеживающейся при аэровизуальных наблюдениях с небольшой высоты (отдельные ее фрагменты иногда отмечаются и на аэрофотоснимках). Ячеистость почвенного покрова выражается в наличии светло-серых и серых пятен грунта, оконтуренных темно-серыми полосами. Размеры пятен в поперечнике колеблются от 0,5 до 3–4 м, а ширина оконтуривающих их полос изменяется соответственно от 0,2 до 1 м. В разрезе под полосами наблюдаются карманообразные грунтовые внедрения (до глубины 0,5–0,7 м), а также гумусовые потеки, имеющие нечеткие очертания и проникающие до глубины 1,0 м;
- ж) от зарастания гарей (выраженность форм понижается, а их редуцированность замедляется из-за перекрытия растущим травянисто-мохово-кустарничковым покровом);
- з) нарушенности растительности мощного фактора, стабилизирующего деятель-

ную поверхность и контролирующего ее термику (под ненарушенным травянистым, а тем более под моховым покровом не могут возникать трещины усыхания, а процессы морозобойного трещинообразования - изза фитогенного снижения амплитуд температур под пологом леса малоинтенсивны или вообще не протекают). Так, в районе г. Братска сосново-лиственный лес с густым подлеском и густым разнотравьем высотой 20-30 см сокращает амплитуды температур на поверхности грунтов под снегом на 6,0°C, а редкий лес почти без травяного покрова на открытых участках старых гарей – только на 0,3-0,5°C (по наблюдениям К.А. Кондратьевой).

Усиление интенсивности протекания процессов усыхания грунтов или морозобойного трещинообразования может произойти в результате либо резкого повышения континентальности климата, либо полного или существенно частичного уничтожения травяно-кустарникового и мохового покрова и древесной растительности. Поскольку резкого повышения континентальности климата сейчас не происходит, то главной причиной кардинальной трансформации геосистем являются лесные пожары, охватывающие часто громадные площади [3].

Наиболее частые и самые интенсивные пожары наблюдаются весной (май - середина июня) в травянистых лесах на юге описываемой территории, а на севере – летом (конец июня – июль) в кустарничковых лесах. В это время отмечаются длительные периоды без дождей, низкая влажность воздуха, частые ветры. Возникновению и развитию лесных пожаров благоприятствует и то, что к этому времени напочвенный покров (опавшие прошлогодние листья, хвоя, сухие веточки, ветошь и т.д.) сильно высыхает. Так, влажность почвенных монолитов, взятых автором (на склоне южной экспозиции к долине р. Чадобца, в районе зим. Горенки: легкосуглинистые грунты на траппах; сосново-лиственничный лес с редким подростом из сосны и темнохвойных пород и разреженным травяным покровом высотой 10-15 см; сомкнутость крон древостоя – 0,6; лесная подстилка, мощностью 3-5 см, совершенно сухая; давность последнего пожара была 95–100 лет), в начале августа на глубинах 5-10 см и 15-20 см была соответственно равна 10 и 14%.

Таким образом, подытоживая тематические исследования на юге Средней Сибири, можно отметить следующее. Мелкополигональный рельеф и сопутствующие ему кли-

новидные и карманообразные внедрения в почвогрунты развивается в максимально площадном плане только на участках, где прошли интенсивные низовые и (или) общие пожары, уничтожившие в значительной мере (до 70-80%) или полностью древостой с подростом, а также кустарничковый и напочвенный травянистый покровы. Подобную картину и пирогенные последствия автор непосредственно наблюдал в конце июля – начале августа 1962 г. на правобережье р. Чадобца – правого притока в среднем течении р. Ангары (в бассейне рек Цембы и Терины). В это время в рассматриваемых районах на площади не менее 10 тыс. га «бушевали» лесные пожары.

В первый послепожарный зимний период по трещинам усыхания происходит заложение морозобойных трещин; одновременное замерзание проникших с осени почвенных растворов и «связывание» с грунтом гуминовых кислот (из-за их денатурации), тем самым приводящей к образованию труднорастворимых органо-минеральных соединений (согласно В.Р. Вильямсу); прокрашивание и уплотнение замерзающих вмещающих грунтов и материала в трещинах; вдоль трещин, и на их оконечностях в глубину – формирование гумусовых потеков (без угольков и растительных остатков и имеющих расплывчатые очертания и различную интенсивность окраску от светло- до темно-серого цвета). Весной при оттаивании промерзших грунтов происходит первичное редуцирование еще плоских блоков-полигонов и дальнейшее заплывание трещин и уплотнение выполняющих трещины грунтов. В это же время зимние морозобойные трещины не всегда заполняются доверху грунтом, остаются частично сверху полыми, а книзу заканчиваются гумусовыми потеками. В последующий летний период процесс начавшегося медленного редуцирования полигонов и заполнения трещин продолжается. Все это было подтверждено в ходе повторного обследования описываемых участков в летнее время 1963 г.

Ежегодные, многократно повторяющиеся описанные циклы и приводят к продолжающемуся редуцированию поверхностных форм мелкополигонального рельефа и разрастанию грунтовых внедрений (трансформирующихся по ширине от клиновидных к карманообразным). В сезонно промерзающем слое грунта, наиболее интенсивно под межблочьями, органо-минеральные частицы передвигаются от фронта промер-

зания книзу, что является следствием дегидратации (по данным лабораторных экспериментов А.М. Пчелинцева). Параллельно протекающее зарастание гарей древесной, кустарничковой и травянистой растительностью уменьшает интенсивность зимнего морозобойного трещинообразования с исчезновением его ежегодного проявления, а рост жил замедляется до полного затухания. Так, в лесу с густым подростом и при относительно высокой полноте древостоя (0,7–0,9) и большой сомкнутости крон (0,7–0,9) морозобойные трещины уже не возникают и, следовательно, рост жил не происходит.

При повторном нарушении или уничтожении восстановившегося леса пожарами «обновляется» мелкополигональный рельеф, а под межблочьями при определенных условиях могут возникнуть двухярусные грунтовые жилы (рис. 6).

Выраженность этих образований тесно связана с давностью пожаров, коррелируясь между собой по времени — в виде циклов развития (рис. 2, 4, 5).

На основании представленных материалов можно сделать следующие промежуточные выводы:

- а) мелкополигональный рельеф, грунтовые жилы и гумусовые потеки, являясь специфическими современными образованиями, распространены довольно широко;
- б) на большей части залесенной части территории возникновение рассмотренных образований после пожаров предопределено, в основном, процессами трещинообразования от усыхания грунтов (в основном пирогенного и меньше - естественного), в последующем усиленным морозобойным трещинообразованием. Возникает этот рельеф в ходе уничтожения пожарами растительного покрова, как мощного экранирующего деятельную поверхность фактора. Дальнейшее развитие этих комплексных образований тесно связано с послепожарной динамикой ландшафтов. Сходные рельефоформирующие процессы на естественных и не залесенных, но задернованных участках вызываются только морозобойным трещинообразованием;
- в) учитывая возможное захоронение этих образований под толщей рыхлых отложений, надо осторожно привлекать «ископаемые» формы для палеогеографических построений.

Вышеизложенные материалы однозначно свидетельствуют о громадной организующей роли пожаров в развитии геосистем на плакорах Средней Сибири.

Б. Горы юга российского Дальнего Востока. Климат территории является континентальным с ярко выраженными муссонными чертами. Лето и зима отличаются, соответственно, ярко выраженными океаническими и континентальными обстановками. Характеристики же весны в этом плане «сдвинуты» к большей океаничности, а осени — к относительно большей континентальности.

Здесь выгорают громадные площади (по экспедиционным материалам М.Н. Громыко и сведениям из литературных источников [6, 7]). Пирогенные смены растительности и их эффекты одновременного воздействия на термику почвогрунтов в горах юга российского Дальнего Востока отличаются пространственно-временной изменчивостью [8–11] и проявляются поразному, существенно отличаясь от таковых на плакорах юга Средней Сибири [1, 3, 4]. Это объясняется прежде всего следующим.

На плоских поверхностях высокогорий и на гольцах Дальнего Востока произрастают низкорослые и редкие лесные насаждения. Их выгорание отмечается нечасто (из-за отсутствия населения антропогенные пожары здесь также редки). Воздействие всех пожаров на почвогрунты в целом незначительное и мало интенсифицирует экзогенные процессы.

На склонах, почти полностью заросших относительно густыми и средне бонитетными растительными группировками и оказывающих существенное охлаждающее влияние на деятельную поверхность почво-грунтов, эффект его «снятия» в ходе пожаров проявляется по-иному. Пирогенные смены здесь сказываются в интенсификации склоновых процессов (десерпции, солифлюкции, курумообразования и других), ведущих к возникновению на склонах микроступенчатости, оплывинных форм, «полосчатого» рельефа [2].

Неуклонное усиление процессов осыпеи курумообразования в пределах горных систем Юга Дальнего Востока в настоящее время связано не только с направленно возрастающей континентальностью климата (по мнению В.В. Никольской), но и с воздействием антропогенных факторов, прежде всего пожаров. Так, в бассейне р. Милоградовки около 2000 лет назад произощло массовое выгорание кедрово-широколиственных лесов на южных склонах (хорошо прогреваемых и сухих), на высоте 50–200 м над у.м. Здесь произошло возобновление древних курумов в вершинах водосборов, в пределах ороговикованных кислых эффузивов. Эти курумы, на которых полностью выгорели почвы, до сих пор покрыты лишайниками [2]. Кроме того, в верхнем поясе гор развиваются вторичные (послепожарные) осыпи, нижние границы которых на Сихотэ-Алине характерны для склонов южной и юго-восточной экспозиции, как лучше прогреваемых и менее залесенных и, что особенно важно, крайне «сухих» в пожаропасные периоды (по результатам наших совместных с В.В. Никольской и А.М. Коротким исследований в 1977 г.).

Наибольшее изменение поверхности рельефа было зафиксировано нами на свежих послепожарных склонах. Здесь широко распространены неширокие площадки, вытянутые по простиранию склонов с высотой уступов до 20-30 см, соответствующей мощности слоя оттаивания в начале лета. На одном из таких участков (вблизи оз. Алексеевского в 1970 г., а также на г. Оуми в 1980 г.) поперек склона были заложены линейные реперы - металлические штыри длиной до 0,5 м. При осмотре этих участков соответственно в 1972 г. и 1982 г. было выявлено, что практически все штыри, поставленные во фронтальной части основания ступеней, оказались перекрыты сползшим грунтом. В то же время за эти 2 года установленные штыри одновременно сместились на 5-10 см [2].

Аналогичные реперы были установлены также и в другом районе, на крутом (свыше 30°) послепожарном склоне (левобережье среднего течения р. Партизанской), где была четко выражена микроступенчатость. Скорость смещения этих ступеней в апреле-мае, совпавшего с разрушением сезонной мерзлоты, здесь составила 0,0-0,5 м. Позже, летом после дождей, наблюдалось начавшееся разрушение этих ступеней с образованием языков оплывания, а к концу лета - местами почти полное их разрушение и нивелировка поверхности склонов. По-видимому, эти образования возникают ежегодно в период зимнего промерзания почвогрунтов с образованием блоков-полигонов. Весной под воздействием дефлюкционно-солифлюкционного смещения и летом происходит полное или частичное их разрушение, а в разрезах сохраняются их следы в виде былых криотурбаций.

В гольцовой зоне хр. Алексеевского вышеуказанные языки оплывания наблюдались на участках, сложенных глинисто-щебнистым материалом. Длина этих языков, имевших фестончатый рисунок, превышала

3–4 м, а в зоне их торможения отмечались валы высотой до 0,3–0,5 м.

Подобные образования из щебней также встречались на послепожарном склоне южной экспозиции в бухте Козьмина (Южное Приморье). Этот склон из года в год подвергается пожарам. В его верхней части, где сохранились травянистая и кустарниковая растительность, отмечались также соразмерные ступени, расположенные по простиранию склона. Ниже, где представлена редкая травянистая растительность, отмечается появление языков оплывания, длина и высота которых увеличивается вниз по простиранию склонов [2].

Вышеотмеченные микроступенчатость склонов и грунтовые кочки на участках пожарищ и слабо покрытых травяно-кустарниковой и древесной растительностью постоянно ежегодно обновляются мерзлотными процессами (зимним промерзанием и весенне-летним протаиванием грунтов) и в целом приводят к разрушению и понижению поверхности склонов, в ходе ее комплексного срезания.

В южных районах гор Сибири (например, в пределах гольцов и склонов хр. Хамар-Дабан – по материалам наших совместных с Ю.О. Медведевым и Д.В. Лопатиным исследований в 1964 г., в частности, на горе Чекановского) морфологически отмечается несколько иная картина. Так, на подгольцовых уплощенных безлесных пространствах г. Чекановского широко развит медленно развивающийся мелкополигональный рельеф (морозобойной природы) (рис. 8).

Деятельная поверхность почво-грунтов здесь перекрыта влажным и мощным (10–15 см) травяно-лишайниково-моховым (большей частью моховым) покровом. Он сокращает воздействия амплитуд температур воздуха и в целом снижает скорость редуцирования блоков-полигонов. Здесь развиты слабо выпуклые с округленными углами блоки-полигоны в поперечнике 0,8-1,0 м, слабо возвышающиеся (до 10–15 см) над широкими (до 20-30 см) межблочьями. Под последними вскрываются относительно неглубокие (до 30-40 см) расширенно клиновидные и (или) карманообразные внедрения с часто раздваивающимися книзу гумусовыми потеками (по мощности до 50-60 см). Здесь в условиях даже редко встречающихся пирогенных смен растительности этот рельеф «обновляется», проходя сходные (в сравнении с таковыми на плакорах юга Средней Сибири, см. выше) «возвратно-поступательные» стадии развития.



Рис. 8. Мелкополигональный уплощенный рельеф на безлесных подгольцовых поверхностях г. Чекановского (на переднем плане – геоботаник-картограф Ю.О. Медведев).
Фото автора (август 1963 г.)



Рис. 9. Мелкополигональный рельеф на склонах, по соседству с уплощенными безлесными подгольцовыми поверхностями, трансформируется в продольно-полосчатый. Фото автора (август 1963 г; г. Чекановского – хр. Хамар-Дабан)

На соседних склоновых участках, занятых кедро-стланиковыми подгольцовыми зарослями, мелкополигональный рельеф после пожаров под действием нивационнодефляционных процессов быстро разрушается и переходит в продольно-полосчатый рельеф (рис. 9).

Вышеизложенные материалы свидетельствуют о значительной организующей роли пожаров в развитии геосистем горных массивов юга Дальнего Востока.

### Выводы

Описанные процессы, приводящие к возникновению рассмотренных образований и сопутствующих им явлений, привносят известные трудности в оптимальное использование природных ресурсов вышеу-казанных территорий. Они со временем могут быть устранены при жестком соблюдении законов охраны природы (в частности, исключения лесных пожаров) и необходи-

мом полном выполнении лесоустроительных мероприятий (по необходимому возобновлению исходной вторичной или даже коренной растительности). Естественные процессы восстановления геосистем близких до исходных состояний сейчас устойчиво активны и, если не будет постороннего вмешательства, они относительно быстро восстановятся и следы присутствия рассмотренных образований могут сохраниться лишь «в ископаемом состоянии».

Для достижения устойчивого развития природных и социальных систем на территории исследованных регионов, требующего минимизации социальных и природных рисков, необходима без конфликтная гармонизация общества и природы. Естественные условия пока этому благоприятствуют, но социальные требуют корректировки.

### Список литературы

- 1. Скрыльник Г.П. Современное формирование мелкополигонального рельефа, грунтовых жил и гумусовых потеков на юге Средней Сибири // Климат и воды юга Средней Сибири. – Иркутск: Восточно-Сиб. изд-во, 1966. – С. 215–237.
- 2. Короткий А.М. Влияние лесных пожаров на интенсивность склоновых процессов в горах юга российского Дальнего Востока / А.М. Короткий, В.В. Коробов, Г.П. Скрыльник // Рельеф и экзогенные процессы гор (Матлы Всерос. науч. конф. с международн. участием, поставлению со дня рождения д.г.н., професора Льва Николаевичв Ивановского. Иркутск, 25–28 октября 2011 г.). Т. 1. Иркутск: изд-во ин-та географии Сибири им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2011. С. 119–122.
- 3. Хореев В.С. Лесные пожары в Среднем Приангарье и борьба с ними // Охрана природы Сибири: мат-лы 1 сибирской конф., 1958 г. Иркутск, 1959. С. 94–95.
- 4. Валендик Э.Н., Кисиляхов Е.К., Рыжкова В.А., Пономарев Е.И., Голдаммер Й.Г. Пожары в Средней Сибири при аномальных погодных условиях // Сибирский лесной журнал. -2014. -№ 3. -C. 43–52.
- 5. Карпенко А.С., Медведев Ю.О. Выявление и картирование пожаров разной давности в целях изучения динамики растительности тайги // Геоботаническое картографирование. М.-Л.: изд-во АН СССР, 1963. С. 25–30.
- 6. Цой О.М., Силин В.А., Недбайло К.А. Лесные пожары на юге Дальнего Востока и мониторинг их последствий // Технологии гражданской безопасности. -2011.-T.~8, № 3.-C.~68–71.
- 7. Жирин В.М., Эйдлина С.П., Князева С.В. Опыт лесоводственного анализа последствий пожаров по космическим изображениям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. -2013. Т. 10, № 3. С. 243–259.
- 8. Михалев Ю.А. Развитие системы охраны лесов от пожаров в условиях бореальных зон // Хвойные бореальной зоны. -2016. Т. 37, № 6. С. 241-245.
- 9. Соколова Г.В. Метод долгосрочного прогноза показателей пожарной опасности в лесах Приамурья на основе учета параметров атмосферной циркуляции // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2014. № 5. С. 50–62.
- 10. Фалеев М.И., Малышев В.П., Макиев Ю.Д., Богатырев Э.Я., Владимиров В.А., Горбунов С.В., Грязнов С.Н., Кондратьев-Фирсов В.М., Мордвинова В.А., Соколов Ю.И. Раннее предупреждение о чрезвычайных ситуациях. М.: МЧС России, 2015. 232 с.
- 11. Соколова Г.В., Макогонов С.В. Разработка методики лесопирологического прогноза (на примере Дальнего Востока) // Метеорология и гидрология. 2013. № 4. С. 12–18.

### References

- 1. Skryl'nik G.P. Sovremennoe formirovanie melkopoligonalnogo rel'efa, gruntovykh zhil i gumusovykh potekov na iuge Srednei Sibiri [The present formation of a small polygonal relief, soil veins and humus drifts in the south of Middle Siberia]. Klimat i vody iuga Srednei Sibiri [Climate and the waters of the south of Middle Siberia]. Irkutsk, Vostochno-Sib. izd-vo, 1966, pp. 215–237.
- 2. Korotkii A.M., Korobov V.V., Skryl'nik G.P. Vliianie lesnykh pozharov na intensivnost' sklonovykh protsessov v gorakh iuga rossiiskogo Dal'nego Vostoka [The influence of the forest fires on intensity of the slope processes in the mountains of the Russian Far East]. Vseros. nauch. konf. s mezhdunarodn. uchastiem, posv. 100-letiiu so dnia rozhdeniia d.g.n., profesora L'va Nikolaevichv Ivanovskogo (g. Vseros. nauch. konf. s mezhdunarodn. uchastiem, posv. 100-letiiu so dnia rozhdeniia d.g.n., profesora L'va Nikolaevichv Ivanovskogo, 25–28 oktiabria 2011 g.) [Proceedings of the Proceedings of the All-Union scientific conference (Irkutsk, October 25–28, 2011)], the Publishing House of V.B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, izd-vo in-ta geografii Sibiri im. V.B. Sochavy SO RAN, 2011, pp. 119–122.
- 3. Khoreev V.S. Lesnye pozhary v Srednem Priangar'e i bor'ba s nimi [The forest fires in the Middle Pre-Angara territories and the struggle with them]. Okhrana prirody Sibiri. Mat-ly 1 sibirskoi konf., 1958 g. [Proceedings of Protection of Siberian Nature. The Proceedings of the 1st Siberian Conference, 1958. Irkutsk, 1959, pp. 94–95.
- 4. Valendik E.N., Kisiliakhov E.K., Ryzhkova V.A., Ponomarev E.I., Goldammer I.G. The fires in Middle Siberia under abnormal weather conditions [Pozhary v Srednei Sibiri pri anomal'nykh pogodnykh usloviiakh]. Sibirskii lesnoi zhurnal the Siberian forest magazine, 2014, no. 3, pp. 43–52.
- 5. Karpenko A.S. Medvedev Iu.O. Vyiavlenie i kartirovanie pozharov raznoi davnosti v tseliakh izucheniia dinamiki rastitel'nosti taigi [On determination and mapping of the fires of the different age with the purpose of the studies of dynamics of taiga vegetation]. Geobotanicheskoe kartografirovanie [Geobotanical mapping]. M-L., izd-vo AN SSSR, 1963, pp. 25–30.
- 6. Tsoi O.M., Silin V.A., Nedbailo K.A. The forests in the south of the Far East and monitoring of their consequences [Lesnye pozhary na iuge Dal'nego Vostoka i monitoring ikh posledstvii]. Tekhnologii grazhdanskoi bezopasnosti Technologies of civil safety, 2011, vol. 8, no. 3, pp. 68–71.
- 7. Zhirin V.M., Eidlina S.P., Kniazeva S.V. The experience of the forestry analysis of the consequences of fires by space images [Opyt lesovodstvennogo analiza posledstvii pozharov po kosmicheskim izobrazheniiam ]. Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniia Zemli iz kosmosa The modern problems of remote sensing of the Earth from space, 2013, vol. 10, no. 3, pp. 243–259.
- 8. Mikhalev Iu.A. Development of protection of forests from fires under conditions of boreal zones [Razvitie sistemy okhrany lesov ot pozharov v usloviiakh boreal'nykh zon]. Khvoinye boreal'noi zony Coniferous boreal zones, 2016, vol. 37, no. 6, pp. 241–245.
- 9. Sokolova G.V. The method of the long-term forecast of the indicators of fire danger in the forests of PriAmur based on the account of the parameters of atmospheric circulation [Metod dolgosrochnogo prognoza pokazatelei pozharnoi opasnosti v lesakh Priamur'ia na osnove ucheta parametrov atmosfernoi tsirkuliatsii]. Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal News of higher educational institutions. The Forest magazine, 2014, no. 5, pp. 50–62.
- 10. Faleev M.I., Malyshev V.P., Makiev Iu.D., Bogatyrev E.Ia., Vladimirov V.A., Gorbunov S.V., Griaznov S.N., Kondrat'ev-Firsov V.M., Mordvinova V.A., Sokolov Iu.I. Rannee preduprezhdenie o chrezvychainykh situatsiiakh [Early warning against extreme situations]. M., MChS Rossii, 2015, 232.
- 11. Sokolova G.V., Makogonov S.V. Development of a technique of the forest pyrological forecast (by example of the Far East) [Razrabotka metodiki lesopirologicheskogo prognoza (na primere Dal'nego Vostoka)]. Meteorologiia i gidrologiia Meteorology and hydrology, 2013, no. 4, pp. 12–18.

УДК 911:631.4(282.256.341)

### РАЗНООБРАЗИЕ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЧВ БАССЕЙНА ОЗ. БАЙКАЛ

<sup>1,2</sup>Убугунов Л.Л., <sup>1</sup>Гынинова А.Б., <sup>3,4</sup>Белозерцева И.А., <sup>1</sup>Убугунов В.Л., <sup>5</sup>Доржготов Д., <sup>3</sup>Сороковой А.А., <sup>1</sup>Убугунова В.И., <sup>1</sup>Бадмаев Н.Б., <sup>1</sup>Балсанова Л.Д., <sup>1</sup>Гончиков Б.Н., <sup>1</sup>Цыбикдоржиев Ц.Ц.

¹ФАНО России ФГБУН «Институт общей и экспериментальной биологии» СО РАН, Улан-Удэ, e-mail: ubugunovv@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия», Улан-Удэ; <sup>3</sup>ФАНО России ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы» СО РАН, Иркутск, e-mail: belozia@mail.ru;

 $^4$ ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет», Иркутск;  $^5$ Институт географии Академии наук Монголии, Улан-Батор, e-mail: batkhishig@gmail.com

Резкая пространственная смена климата в бассейне оз. Байкал, многообразие форм рельефа, кор выветривания, переотложенность рыхлого материала гравитационными, ветровыми и водными потоками, разнообразие растительного покрова обусловливают высокую степень неоднородности почвенного покрова. В его формировании большое участие принимают явления инверсии, миграции и интерференции, проникновение аридных почв по солярным склонам в горы, опускание мерзлотных горно-таежных почв в днища котловин, внедрение криоаридных и засоленных почв глубоко на север. Созданная почвенная карта бассейна оз. Байкал отражает общие географические закономерности распределения почв на этой территории. Наличие горных систем и их обширные пологонаклонные предгорья сглаживают контрасты в смене ландшафтов и почв в широтной зональности. Впервые показана роль горизонтальной зональности в формировании почвенного покрова высокогорий и среднегорий. Зональность горно-таежных почв проявляется в смене с севера на юг альфегумусовых почв криоземами. Специфика почвообразования на высоких равнинах и межгорных понижениях определяется дефицитом влаги, активной солнечной радиацией, поступлением холодных воздушных масс с гор в котловины. В этих условиях с севера на юг происходит смена дерново-серых почв каштановыми и криоаридными. Черноземы, дерново-подбуры и почвы органо-аккумулятивного отдела занимают нижние части склонов и подножия горных систем между горными и равнинными почвами. Их география определяется в большей степени вертикальной поясностью и экспозиционностью, нежели зональностью. Наибольшие площади их приурочены к предгорьям Прихубсугульских и Хангайского горных массивов.

Ключевые слова: почвы, почвенный покров, разнообразие, высокогорье, среднегорье, котловины, картографирование, бассейн оз. Байкал

### VARIETY AND SPATIAL STRUCTURE OF SOILS OF THE LAKE BAIKAL BASIN

<sup>1,2</sup>Ubugunov L.L., <sup>1</sup>Gyninova A.B., <sup>3,4</sup>Belozertseva I.A., <sup>1</sup>Ubugunov V.L., <sup>5</sup>Dorzhgotov D., <sup>3</sup>Sorokovoy A.A., <sup>1</sup>Ubugunova V.I., <sup>1</sup>Badmaev N.B., <sup>1</sup>Balsanova L.D., <sup>1</sup>Gonchikov B.N., <sup>1</sup>Tsybikdorzhiev Ts.Ts.

<sup>1</sup>Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Russia, Ulan-Ude, e-mail: ubugunovv@mail.ru; <sup>2</sup>Buryat State Agricultural Academy, Ulan-Ude;

<sup>3</sup>Institute of Geography SB RAS named after V.B. Sochava, Irkutsk, belozia@mail.ru; <sup>4</sup>Irkutsk State University, Irkutsk;

<sup>5</sup>Institute of Geography and Geoecology of the Academy of Sciences of Mongolia, Ulaanbaatar

Sharp spatial change of climate in the basin of the Lake Baikal, variety of a relief, and weathering crust, redeposition of loose material by gravitation, wind, water, and vegetation diversity cause the high degree of the heterogeneity of the soil cover. The phenomena of inversion, migration and fallout of soil zones, penetration of arid soils along solar slopes to mountains, and permafrost-affected mountain taiga soils to the bottoms of hollows, pervasion of the cryoarid and salted soils deeply to the north take a large part in its formation. The created soil map of the basin of the Lake Baikal reflects the general geographical regularities of distribution of soils in this territory. Existence of mountain systems and their extensive pologonaklonny foothills smooth contrasts in change of landscapes and soils in the width zonality. The role of horizontal zonality in formation of a soil cover of highlands and middle mountains is shown for the first time. Zonality of the mountain taiga soils is become apparent in the change from the alfe-humus soils to cryosol from the north to the south. The specifics of soil formation on the high plains and intermountain depressions are defined by deficiency of moisture, active solar radiation, flows of cold air from the mountains into the hollows. In these conditions there is a replacing of soddy-gray soils by kashtanozems and cryoarid soils from the north to the south. Chernozems, soddy-podburs and soils of the organic accumulative department occupy the lower parts of slopes and the foot of mountain systems between mountain and plain soils. Their geography is defined more by the vertical zonality, and the slope exposition, than the latitudinal zoning. The largest areas of these soils are confined to the foothills near the lake Hubsugul and Hangay mountains.

Keywords: soils, soil cover, variety, highlands, middle mountains, hollows, mapping, basin of the Lake Baikal

Экологические проблемы объекта Всемирного природного наследия — оз. Байкал требуют экологически ориентированного

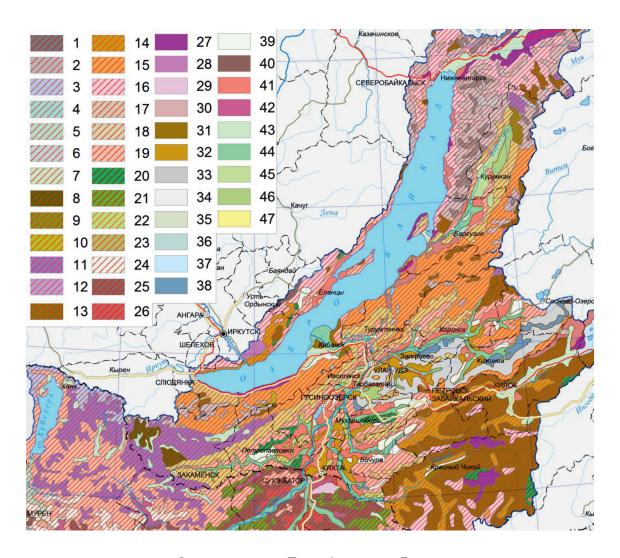
использования экосистем самого объекта и его бассейна [1, 2]. Почва является составной частью экосистем. До настоящего

времени отсутствовали карты почвенного покрова этой территории, созданные на едином методологической подходе и с использованием общих принципов классификации почв.

Имеющиеся почвенные карты по бассейну Байкала на территорию России [1, 3] и Монголии [4] отражают этап исследований 1960-1980 гг. При их создании использовались различные методы и номенклатура. Важным этапом в развитии почвенной науки России и Монголии явилось создание почвенной карты бассейна Байкала масштаба 1:5 000 000 [5]. Основой для составления карты послужили многолетние почвенные исследования, проведенные в 1990–2017 гг. в Бурятии, Иркутской области, Забайкальском крае и Монголии [6–9] с использованием современного картографического инструментария [10–12]. Географическое представление почвенного покрова с использованием новой классификации почв [13, 14] является одним из первых опытов в России. В данной работе рассматриваются основные закономерности пространственной организации почв Байкальского региона. Площади ассоциаций почв подсчитаны в программе MapInfo.

### Материалы и методы исследования

Объектом исследования является почвенный покров бассейна оз. Байкал (площадь 576,5 тыс. км², протяженность по меридиану ~13 000 км). В южной части бассейн обрамляют Большой Хангайский, Хэнтэйский хребты и Прихубсугульские горные сооружения, на севере — Становое нагорье и Прибайкальские хребты. Среднегорьем занято примерно 45% территории бассейна [2]. В пределах Российской Федерации находится около половины (44,6%) площади байкальского водосбора.



Фрагмент карты «Почвы бассейна оз. Байкал»

В связи с этим и наряду с данными многолетних исследований почв и почвенного покрова российских и монгольских ученых основой для составления почвенной карты бассейна оз. Байкал послужили различные картографические материалы, отражающие климат, рельеф, геологию, геоморфологическое строение и пространственную организацию почвенного и растительного покровов, использовались разные по масштабу и времени издания топографические карты, аэро- и космические снимки, а также результаты полевых маршрутных исследований авторов. При этом учитывались факторно-индикационные характеристики и почвенно-ландшафтные связи [15].

Главными факторами, определяющими пространственную организацию почвенного покрова в регионе на мегауровне, являются рельеф и климат. Указанные факторы и ландшафтные связи имеют отчетливую специфику в горной и равнинной частях бассейна. Влияние акватории озера Байкал также определяет особенности климата и, соответственно, почвенного и растительного покрова. В связи с этим отдельно рассматриваются почвы высокогорий, высоких равнин, межгорных понижений и Прибайкалья.

В условиях горного рельефа преобладающими типами СПП являются мозаики и сочетания. В днищах межгорных котловин встречаются комплексы. Однако такие черты рельефа, как выположенные вершины хребтов, щебнистые днища котловин и большой диапазон показателей крутизны склонов, значительно усложняют структуру почвенного покрова и нередко обусловливают одновременное чередование сочетаний и мозаик. В связи с этим на карте даны ассоциации почв, состоящие из трех групп: «основные», «сопутствующие» и «встречающиеся» (карта) без указания классов почвенных комбинаций [5] (рисунок, таблица). К основным относятся преобладающие почвы, занимающие 70-80% территории, к сопутствующим – занимающие 15-20% территории и к встречающимся – 5–10%.

### Результаты исследования и их обсуждение

Процессы почвообразования тесно связаны с корами выветривания. В Северной Монголии сочетаются грубообломочная ортоэлювиальная, карбонатная и хлоридносульфатная коры выветривания, в Селенгинском среднегорье на склонах хребтов выражена также обызвесткованная щебнистая кора, в Прибайкалье на склонах, обра-

щенных к озеру, грубообломочный ортоэлювий сменяется кислой сиаллитной корой выветривания.

Почвы высокогорной, среднегорной, низкогорной и котловинной частей территории имеют свои особенности. Для Хангайского хребта характерна следующая смена почв от верхнего пояса к подножью: литоземы  $\rightarrow$  торфяно-глееземы  $\rightarrow$  криоземы  $\rightarrow$ дерново-подбуры → черноземы дисперснокарбонатные. Литоземы доминируют в водораздельной альпинотипной части с сопутствующими им петроземами, глееземами и подбурами. Ниже, в лесотундровом и таежном поясе со сглаженными формами рельефа и небольшими перепадами высот формируются торфяно-глееземы и насыщенные влагой неглубоко протаивающие криоземы на льдистой мерзлоте, с сопутствующими на повышениях сухо-мерзлотными подбурами и, локально по микропонижениям, - торфяно-литоземами. Завершается поясность дерново-подбурами с сопутствующими им серогумусовыми почвами и черноземами дисперсно-карбонатными. В горной тайге Хангая встречаются степные «острова» с почвами черноземного облика: литоземы перегнойно-темногумусовые и темногумусовые, иногда темногумусовые типичные почвы, а также каштановые и криоаридные почвы. Их можно встретить на крутых участках склонов южной экспозиции. По заболоченным понижениям формируются торфяные эутрофные почвы.

Горы Хэнтэйского нагорья имеют пологий рельеф с широким распространением останцов, скал и каменистых россыпей. В вертикальной поясности смена основных типов почв представлена рядом: криоземы  $\rightarrow$  литоземы  $\rightarrow$  дерново-подбуры  $\rightarrow$  темногумусовые метаморфизированные. В водораздельной части криоземам сопутствуют сухо-мерзлотные подбуры. В подтаежном поясе на рыхлом элюво-делювии доминирующими типами почв являются дерново-подбуры и сопутствующие им серогумусовые почвы. Многочисленные выходы плотных пород с маломощным элювием обусловливают формирование литоземов серогумусовых и петроземов гумусовых. Локально встречаются торфяно-литоземы. В северной части Хэнтэйского нагорья на территории России (Чикойский хребет, максимальная высота 2519 м), смена почв по поясам более проста и состоит из двух типов: подбуры грубогумусированные → подбуры, грубогумусовые почвы → дерново-подбуры. Подбурам грубогумусированным сопутствуют буроземы

и подбуры оподзоленные по долинам рек, дерново-подбуры образуют комбинации с серогумусовыми почвами. На высоких равнинах встречаются подзолы и темногумусовые типичные почвы.

В вертикальной структуре западной части Прихубсугулья отмечается следующая смена почв: литоземы — криоземы — дерново-подбуры, а восточнее, в пределах Джидино-Хамар-Дабанской части: карболитоземы — криоземы — подбуры — дерново-подбуры.

В водораздельной части хребтов Прибайкалья в пределах гольцового пояса под лишайниковыми и травянистыми сообществами среди каменистых россыпей доминируют петроземы и литоземы. В подгольцовом поясе под зарослями кедрового стланика самостоятельную полосу занимают литоземы и петроземы с подбурами и подзолами. В пределах горной тайги Северного Прибайкалья ниже гольцового пояса формируются альфегумусовые почвы с элювиально-иллювиальным дифференцированным, слабодифференцированным и недифференцированным профилями. На Байкальском, Баргузинском хребтах и в Северо-Байкальском нагорье господствуют подзолы и подбуры с участием торфяноподбуров и дерново-подзолов. В вертикальной поясности образуются ряды, в нижней части которых имеются отличия на склонах разной экспозиции: литоземы и петроземы  $\rightarrow$  подбуры и подзолы  $\rightarrow$  дерново-подзолы глеевые (склон, обращенный к побережью Байкала), подбуры, грубогумусовые и дерново-подбуры (склон, обращенный к Баргузинской котловине).

В высокогорной части хребтов Хамар-Дабан, Улан-Бургасы и Икатский наибольшую площадь занимают подбуры и буроземы грубогумусовые. Под субальпийскими лугами формируются органо-аккумулятивные, прежде всего темногумусовые почвы. На склонах, обращенных к Байкалу, буроземы спускаются к основанию хребтов и смена почв в вертикальной поясности представлена рядом: темногумусовые  $\rightarrow$  подбуры  $\rightarrow$  буроземы. В нижней части склонов восточной экспозиции в предгорной тени последовательно располагаются пояса подбуров и грубогумусовых почв и дерново-подбуров, образуя ряд: темногумусовые  $\rightarrow$  подбуры  $\rightarrow$ подбуры и грубогумусовые → дерново-подбуры.

Межгорные котловины Прибайкалья характеризуются большой пестротой почвенного покрова от таежных и болотных до сухостепных, что обусловлено широтным

положением, высотой, орографической барьерностью, экспозиционностью склонов окружающих горных хребтов и особенностями влияния акватории озера. В дельте р. Селенга, в долине рек Баргузин и Северная Ангара относительно крупные массивы заняты болотами, на которых развиваются преимущественно торфяные эутрофные и торфяные эутрофные глеевые почвы. В устьях рек Баргузин и Турка формируются дерново-подзолы, в устье р. Селенга – дерново-подбуры и дерново-серые почвы. Для побережья оз. Байкал одновременно с оподзоленными и болотными почвами, характерно формирование псаммоземов. В Приольхонье и на о. Ольхоне, а также в Баргузинской котловине в дождевой тени Приморского, Байкальского и Баргузинского хребтов формируются сухостепные каштановые, серо- и светлогумусовые почвы. В Баргузинской котловине широко распространены засоленные почвы, в том числе солончаки, временами встречаются солонцы и солонцеватые почвы.

Орхон-Селенгинское и Селенгинское среднегорья представляют собой вытянутые с юго-запада на северо-восток крупные межгорные понижения с отметками в днищах 500–1000 м, к окраинам 1000–1500 м, чередующиеся с останцами высотой до 1500-2000 м. Высокие гипсометрические отметки окружающих горных сооружений вызывают аридный котловинный эффект, благодаря которому в днищах котловин формируются сухостепные почвы. На территории Монголии значительные территории заняты каштановыми, криоаридными и светлогумусовыми почвами. Им сопутствуют и вместе с ними встречаются каштановые гидрометаморфизированные и криогумусовые почвы. По долинам рек формируются серо- и светлогумусовые почвы с относительно небольшими контурами засоленных почв. По окраинам среднегорья в подтаежном ландшафтном поясе (1650-1900 м) Хангайского, Хэнтэйского и прихубусугульских хребтов, ближе к обрамляющим его высокогорным хребтам, в почвенном покрове встречаются темногумусовые типичные и метаморфизированные почвы. Переходные к горной части территории занимают дерново-подбуры с сопутствующими им серогумусовыми почвами, а также дисперсно-карбонатные и гидрометаморфизированные черноземы. По пологим склонам солярной экспозиции каштановые и криоаридные почвы поднимаются в горы.

Ассоциации почв бассейна оз. Байкал и их площади

tая Средняя адь, площадь 2 контура, км²		7   156	74   433	.0 323	84 1046	430	.4 120	50	4 608	1 731	5 225	48 1086	6 509	1068	88 1556	12 2483	14 956	11 1451	54 1035	25 834	0   464	3 342	191	5 975	58 1221	1866
о Общая площадь, км²		3737	19474	8720	15684	5154	1324	66	1824	731	225	52148	1019	36328	10888	27312	19114	1451	16564	75925	068/	9563	1720	975	26858	63448
Кол-во конту- ров		24	45	27	15	12	11	2	ς,	-		48	2	34	7	11	20	-	16	91	17	28	6	-	22	34
Встречающиеся	территорий	Глееземы, Подзолы	Подбуры	петроземы	Карбо-литоземы темногумусовые	Литоземы Темногумусовые	Торфяно-литоземы	Торфяно-подбуры глеевые	Карбо-литоземы перегнойные	Карбо-литоземы перегнойно-гумусовые	Перегнойные	Торфяно-литоземы	Торфяно-глееземы		Подбуры иллювиально-гумусовые	Подзолы	Дерново-подбуры	Подзолы	Подзолы	Литоземы серогумусовые, петроземы гумусовые	Темногумусовые глееватые	Темногумусовые остаточно-карбонатные	серогумусовые	Темногумусовые метаморфизированные	Каштановые	Черноземы дисперсно-карбонатные
Сопутствующие	Почвы горных территорий	Криоземы, Подбуры	Петроземы,	Глееземы, Подбуры	Глееземы	Литоземы серогумусовые	Торфяно-глееземы	Торфяно-литоземы	Карбо-литоземы перегнойно-темногу- Карбо-литоземы перегнойные мусовые	Карбо-литоземы темногумусовые	Перегнойно-криометаморфические	Подбуры	Торфяно-подбуры	Дерново-подбуры, Сухо-торфяно-под- буры	Подбуры иллювиально-железистые	Дерново-подбуры	Дерново-подзолы	Подбуры	Дерново-подзолы, буроземы грубогу- мусовые	Серогумусовые	Темногумусовые метаморфизированные	Темногумусовые глееватые	Каштановые	Черноземы дисперсно-карбонатные	Черноземы гидрометаморфизированные	Каштановые гидрометаморфизирован- ные
Основные		Литоземы, петроземы	Литоземы	Литоземы грубогумусовые	Литоземы перегнойно-темногумусовые Глееземы	Литоземы темногумусовые	Глееземы	глееземы	емногумусовые	Карбо-литоземы перегнойные	10 Перегнойно-темногумусовые	Криоземы	Торфяно-криоземы	усированные	Подбуры оподзоленные	богумусовые			Подбуры и грубогумусовые	Дерново-подбуры	Темногумусовые типичные	Темногумусовые метаморфизированные		Темногумусовые остаточно-карбонатные	Черноземы дисперсно-карбонатные	25 Каштановые

				Ō	кончани	Окончание таблицы
Уе п/п	Основные	Сопутствующие	Встречающиеся	ΟΊ	я Њ,	Средняя
		йшажилон уг шихэмэм н шилаом химээл на гатал	йшкомили и пимовы	ров	KM²	контура, км²
		1104вы высоких равнин и мех	жгорных понижении	;	4	4
27	Подзолы	Дерново-подзолы	Подзолистые	12	6609	508
28	Дерново-подзолистые	Подзолистые	Дерново-подбуры оподзоленные	1	640	640
29	Псаммоземы гумусовые	Светлогумусовые	Псаммоземы оподзоленные	1	514	514
30	Дерново-подзолы глеевые	Дерново-подзолисто- глеевые	Дерново-подзолы глееватые	8	3512	439
31	Дерново-подбуры и дерново-серые	Псаммоземы гумусовые	Темногумусовые	5	1145	229
32	Дерново-подбуры и псаммоземы гуму- Подбуры совые	Подбуры	Псаммоземы	15	4407	294
33	Дерново-серые	Серые метаморфические	Серогумусовые	2	5666	4998
34	Серые метаморфические	Дерново-серые	Серогумусовые	15	2164	144
35	Гумусово-гидрометаморфические	Темногумусовые	Перегнойно-темногумусовые	-	26	76
36	Перегнойно-глеевые	Перегнойно-квазиглеевые	Перегнойно-гумусовые глеевые	1	186	186
37	Черноземы квазиглеевые	Черноземы гидрометаморфизированные	Черноземы глинисто-иллювиальные квази- глеевые	7	1567	783
38	Черноземовидные	Темногумусовые метаморфизованные	Черноземы текстурно-карбонатные квазигле- евые	7	2201	314,4
39	Черноземы дисперсно-карбонатные	Черноземы гидрометаморфизованные	Черноземовидные	9	2777	462,8
9	Черноземы текстурно-карбонатные	Каштановые	Каштановые гидрометаморфизованные	2	1373	9,989
41	Каштановые	Криоаридные	Каштановые гидрометаморфизованные	51	20301	398,1
42	Каштановые гидрометаморфизованные	Каштановые турбированные	Каштановые типичные	6	3529	392,1
43	Торфяные эутрофные	Торфяно-глееземы	Перегнойно-глеевые	70	16014	228,8
44	Аллювиальные серогумусовые	Аллювиальные темногумусовые глеевые, слоистые, перегнойно-глеевые	Торфяно-глеевые, Торфяно-криоземы глеева- тые	4	21054	5263,3
45	Солончаки, солонцы	Светлогумусовые засоленные, каптановые засоленные (солонцеватые)	Темногумусовые засоленные	111	7997	241,9
46	Серо- и светлогумусовые	Псаммоземы	Дерново-подбуры	5	3527	705,3
47	Пески	Псаммоземы гумусовые	Псаммоземы	8	937	117,1
				735	538652	
						-

Преобладающими почвами российской части Селенгинского среднегорья являются дерново-серые и каштановые почвы. Дерново-серые доминируют в северо-восточной части среднегорья. По остепненным лугам на речных террасах значительные территории занимают почвы черноземного облика: черноземовидные, темногумусовые метаморфизованные и собственно черноземы текстурно-карбонатные квазиглеевые. На песчаных отложениях широко распространены комбинации дерново-подбуров и псаммоземов гумусовых. В сторону окружающих хребтов в почвенном покрове увеличивается доля дерново-подбуров и серогумусовых почв. Они занимают средние и нижние, преимущественно пологие, части склонов и днища котловин, покрытые сосновыми, смешанными и мелколиственными лесами.

В пределах Иволгино-Гусиноозерской части среднегорья и далее на юг увеличиваются площади, занятые каштановыми почвами и комбинациями дерново-подбуров и псаммоземов гумусовых. Сопутствующими почвами в пределах котловин являются серые метаморфические. Небольшие ареалы заняты черноземами квазиглеевыми. По долинам р. Хилок и ее притока – р. Тугнуй значительные площади занимают черноземы дисперсно-карбонатные и темногумусовые почвы. Для нижней части пологих склонов и приозерных понижений характерны обширные массивы засоленных почв, распространенные в Иволгинской, Тугнуйской и Бичурской котловинах и Боргойской степи. Занимают они понижения, в основном прилегающие к поймам рек. Наиболее распространенные типы засоления солонцов и солончаков - сульфатно-содовый, содовосульфатный, сульфатный и хлоридно-сульфатный.

Пойменные почвы представлены в основном аллювиальными светло-, серои темногумусовыми почвами; на островах и в прибрежной части – слаборазвитыми аллювиальными слоистыми почвами. В степной и особенно в сухостепной зонах Забайкалья, в поймах рек также формируются солончаки и реже солонцы.

Пойма р. Баргузин занята аллювиальными серо- и темногумусовыми почвами, образующими комбинации с торфяно-глеевыми и торфяно-криоземами глееватыми. В дельте р. Селенга в пределах Усть-Селенгинской впадины в основном формируются аллювиальные серогумусовые, темногумусовые, слоистые и оторфованные почвы. Основ-

ные закономерности отражены в 47 ассоциациях почв (таблица).

Основные закономерности пространственного распределения почв бассейна оз. Байкал, имеющего протяженность 13000 км по меридиану, во многом связаны с широтной зональностью. Однако различия в поступлении солнечной радиации между параллелями 46° и 57° в значительной мере нивелируются горным характером рельефа с его вертикальной поясностью.

Почвенные контуры с подбурами в качестве основных компонентов ассоциаций занимают 47216 км<sup>2</sup>. Большие территории (62990 км²) подбуры занимают вместе с подзолами, буроземами и грубогумусовыми почвами. Преобладание подбуров в почвенном покрове северной части бассейна отражает зонально-фациальные закономерности распределения почв. Сложность почвенного покрова горно-таежных ландшафтов Прибайкальских хребтов, формирование в качестве основных типов наряду с подбурами подзолов и буроземов обусловлено влиянием оз. Байкал. В межгорных понижениях Прибайкалья отмечается большая пестрота почвенного покрова, обусловленная поступлением влаги с окружающих горных хребтов, сложный рельеф, включающий современные и древние русла рек, низины и террасы. Несмотря на это от северного Прибайкалья к южному все же прослеживается последовательная смена преобладания болотных торфяных эутрофных почв дерново-подзолами, подтаежными дерново-серыми почвами и дерново-подбурами.

Преобладающим типом почв таежного пояса гор южной части бассейна, Малого Хамар-Дабана, прихубсугульских хребтов, Хэнтэя и Хангая, являются льдисто-мерзлотные представители почв, ранее объединенных под названием мерзлотно-таежные – криоземы ( $S = 52148 \text{ км}^2$ ). Вместе с криоземами здесь широко распространены почвы влажных экологических ниш литоземы перегнойно-гумусовые и торфяно-глееземы. Большую роль в создании гумидного климата и накопления льдистой мерзлоты здесь играет большая высота (2500–3500 м над у.м.), огромные площади (> млн км²), занимаемые этими горными странами, и значительное поступление солнечной радиации.

Значительные площади на территории бассейна оз. Байкал занимают дерновоподбуры – почвы переходных от горно-таежных к степным ландшафтов. В качестве основных компонентов ассоциаций они

распространены по всей территории бассейна и занимают территорию в 75925 км². Дерново-подбуры в качестве основных типов образуют комбинации с дерново-серыми почвами (1145 км²) и с псаммоземами гумусовыми (4407 км²). В северной части бассейна дерново-подбуры формируются в основном на высотах 700–800 м, поднимаясь в горы в дождевой тени и по склонам солярных экспозиций до высоты 1000 м, а в южной — на высоте 1000–1500 м и поднимаются в горы до отметок 1750 м.

Почвенный покров Селенгинского и Орхон-Селенгинского среднегорья характеризуется следующей сменой доминирующих типов почв с севера на юг:

- а) дерново-серые с участками черноземовидных почв;
  - б) каштановые;
  - в) горно-каштановые и криоаридные.

Контуры, где основным типом являются дерново-серые почвы, имеют площадь 9995 км<sup>2</sup>. На площади 1145 км<sup>2</sup> они выступают фоном вместе с дерново-подбурами. Местоположение дерново-серых почв приурочено к северной части Селенгинского среднегорья, граничащей с областью распространения многолетней мерзлоты. Почвы формируются на песчано-пылеватых лессовидных отложениях в нижней части пологих склонов или на речных террасах под смешанными или мелколиственными лесами. Тип дерново-серые выделен Ц.Х. Цыбжитовым [16]. Генезис и классификационное положение этих почв окончательно не выяснено.

Доминирующими в среднегорье являются каштановые почвы. В качестве основных они входят в контуры общей площадью 87278 км<sup>2</sup>. Основные их массивы располагаются в южной части среднегорья, охватывая пенепленизированные поверхности древних хребтов и террасы рек Тугнуй, Хилок, Чикой, Джида, Селенга, Орхон, Хунуйн Гол, Шарын Гол и др. География каштановых почв включает также Баргузинскую котловину, о. Ольхон, Приольхонье. В верховьях рек Идэр и Дэлгэр-Мурэн на Хангае на высоте 2000 м развиваются неполнопрофильные светлогумусовые почвы. В степных ландшафтах формируются также криоаридные почвы, имеющие сходство с каштановыми почвами. Для их окончательной диагностики требуются специальные исследования.

География дерново-серых и каштановых почв свидетельствует о том, что эти почвы можно отнести к зональным. До-

казательством служит строгая приуроченность дерново-серых почв к бореальной области в северной части Селенгинского среднегорья, где они являются фоновыми. Что касается каштановых почв, то они абсолютно доминируют в суббореальной области Селенгинского и Орхон-Селенгинского среднегорья. Формирование их в понижениях среди высокогорий объясняется спецификой горного почвообразования и демонстрирует экспансивный характер распространения засушливых почв на территории бассейна оз. Байкал.

Черноземы являются зональными почвами на территории Восточной Европы и Западной Сибири. На территории Забайкалья и Северной Монголии они не образуют крупных контуров. В Монголии эти почвы приурочены к предгорьям Хангая, где они поднимаются до высоты 1750 м и располагаются ниже пояса дерново-подбуров. На российской территории черноземы формируются отдельными участками, приуроченными к нижней части и подножиям склонов теневых экспозиций южной части Селенгинского среднегорья и примыкающим к ним днищах котловин. Распространение черноземов в бассейне оз. Байкал аналогично дерново-подбурам, которые образуют пояс в предгорьях Хангая, Прибайкальских хребтов, Хэнтэя и Чикоя. Площадь черноземов составляет 32575 км<sup>2</sup>, а география их определяется в первую очередь вертикальной поясностью и экспозиционностью, нежели широтной зональностью.

В поймах формируются различные типы почв, относящиеся к отделам слаборазвитых, аллювиальных, галоморфных почв. Специфика пойменного почвообразования связана с горным характером территории, региональными особенностями поемноаллювиальных процессов, резко континентальным климатом и функционированием почв в условиях совместного проявления криодизации и аридизации. Почвенный покров континентальной дельты Селенги характеризуется неоднородностью. На песчаных плейстоценовых озерно-речных террасах развиваются дерново-подбуры и дерново-серые почвы, на пологонаклонных участках террас – серые метаморфические, на древней дельте – торфяные эутрофные почвы.

#### Заключение

На карте почвенного покрова бассейна оз. Байкал на территории России и Монголии отражены основные закономерности

пространственного распределения почв. Составленная карта является документом, отражающим количество и качество почвенных ресурсов и необходима для учета и оценки биосферных функций почв этой территории, влияния почвенного покрова на оз. Байкал и имеет большое значение для планирования развития сельского хозяйства в России и в Монголии.

Территория бассейна оз. Байкал расположена выше 455 м над уровнем моря и состоит из высокогорий и среднегорий, имеющих отчетливые отличия и специфичность проявления широтной зональности. Наличие горных систем и их обширные пологонаклонные предгорья сглаживают контрасты в смене ландшафтов и почв в широтной зональности. При рассмотрении элементов вертикальной поясности отмечается преобладание в высокогорьях северной части сухомерзлотных почв, а южной - льдистомерзлотных, обусловленное более высокими температурами, обусловливающими накопление влаги в виде льда. Среди почв высокогорий северной части бассейна господствуют подбуры, а южной – криоземы.

В Северном Прибайкалье наряду с подбурами доминируют подзолы. В Восточном и Южном Прибайкалье формируются буроземы, что объясняется смягчающим влиянием оз. Байкал на климат этой территории. Дерново-подбуры являются элементом вертикальной поясности почв с самым крупным ареалом и представляют собой переходный тип почв от горно-таежных к степным. В северной российской части бассейна широко распространены комбинации подбуров с дерново-подбурами и буроземами. Их «зональность» заключается в том, что спорадически встречаясь на северной границе бассейна, они расширяют свой ареал к югу в соответствии с аридизацией климата и увеличением площадей горных областей. В среднегорье, пересекающем территорию бассейна оз. Байкал непрерывной полосой, расширяющейся от Витимского плоскогорья до Хангая, широтная зональность почв прослеживается более отчетливо и включает дерново-серые почвы, каштановые и криоаридные.

Исследования выполнены по теме проектов НИР № АААА-А17-117011810038-7 (ФАНО 0337-2017-0002); № АААА-А17-117041910169-4 (ФАНО 0347-2016-0002).

#### Список литературы

- 1. Байкал. Атлас. М., ГУК, 1993. 160 с.
- 2. Экологический атлас бассейна озера Байкал. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. 145 с.

- 3. Почвенный покров Бурятской АССР. М-б 1:1 000 000. М.: ГУГК, 1980.
- 4. Национальный атлас Монголии. Улан-Батор Москва, 1990. 144 с.
- 5. Белозерцева И.А., Доржготов Д., Батхишиг О., Убугунов Л.Л., Бадмаев Н.Б., Убугунова В.И., Гынинова А.Б., Балсанова Л.Д., Убугунов В.Л., Гончиков Б.Н., Цыбикдоржиев Ц.Д-Ц., Сороковой А.А. Почвы // Экологический атлас бассейна озера Байкал. Карта 1:5000000 Мб. Иркутск: Ин-т географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. С. 38–40.
- 6. Доржготов Д., Батхишиг О. Почвы. Почвенно-географическое районирование Монголии // Национальный Атлас Монголии. Улан-Батор, 2009. С. 120–122.
- 7. Краснощеков Ю.Н. Почвенный покров и почвы горных лесов северной Монголии. Новосибирск: Наука, 2013. 196 с.
- 8. Убугунов В.Л., Убугунова В.И. Почвообразующие породы как ключ к пониманию самобытности почвообразования в Западном Забайкалье // Природа Внутренней Азии. 2017. № 4. С. 37—50. DOI: 10.18101/2542-0623-2017-4-37-50.
- 9. Убугунов Л.Л., Убугунова В.И., Бадмаев Н.Б., Гынинова А.Б., Убугунов В.Л., Балсанова Л.Д. Почвы Бурятии: разнообразие, систематика и классификация // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2012.—№ 2. С. 45–52.
- 10. Алябина И.О. Оценка роли почвообразующего потенциала природных факторов в формировании почвенного покрова на основе геоинформационных технологий: автореф. дис. . . . докт. биол. наук. Москва. 2016. 51 с.
- 11. Рухович Д.И., Королева П.В., Вильчевская Е.В., Калинина Н.В. Цифровая почвенная картография как смена доступных первоисточников и способов их использования // Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 2012. С. 58—87.
- 12. McBratney A.B., Mendoca-Santos M.L., Minasny B. On digital soil mapping // Geoderma. 2003. Vol. 117. Issue 1–2. P. 3–52.
- 13. Воробьева Г.А. Почвы Иркутской области: вопросы классификации, номенклатуры и корреляции. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2009. 149 с.
- 14. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. 2018. URL: http://soils.narod.ru/obekt/obekt.html (дата обращения: 15.04.2018).
- 15. Соколов И.А. Пространственно-временная организация педосферы и ее эволюционно-экологическая обусловленность // Почвоведение. 1993. № 7. С. 13-22.
- 16. Цыбжитов Ц.Х., Цыбикдоржиев Ц.Ц., Давыдова М.А., Гончиков Б.М.Н. Структура почвенного покрова Тугнуйской котловины Забайкалья // Почвоведение. 2008. № 8. С. 928—936.

#### References

- 1. Bajkal. Atlas. M., GUK, 1993. 160 p.
- 2. EHkologicheskij atlas bassejna ozera Bajkal. Irkutsk: Izdvo Instituta geografii im. V.B. Sochavy SO RAN, 2015.  $145\ p.$
- 3. Pochvennyj pokrov Buryatskoj ASSR. M-b 1: 1 000 000. M.: GUGK, 1980.
- 4. Nacional'nyj atlas Mongolii, Ulan-Bator Moskva, 1990. 144 p.
- 5. Belozerceva I.A., Dorzhgotov D., Bathishig O., Ubugunov L.L., Badmaev N.B., Ubugunova V.I., Gyninova A.B., Balsanova L.D., Ubugunov V.L., Gonchikov B.N., Cybikdorzhiev C.D-C., Sorokovoj A.A. Pochvy // EHkologicheskij atlas bassejna ozera Bajkal. Karta 1:5000000 Mb. Irkutsk: In-t geografii im. V.B. Sochavy SO RAN. 2015. pp. 38–40.
- 6. Dorzhgotov D., Batkhishig O. Pochvy. Pochvennogeograficheskogo raionirovanie Mongolii [Soils. Soil and geographical division into districts of Mongolia]. Natsional'nyi At-

- las Mongolii [National Atlas of Mongolia]. Ulaanbaatar, Institut geografii akademii nauk Mongolii, 2009, pp. 120–122.
- 7. Krasnoshchekov Iu.N. Pochvennyi pokrov i pochvy gornykh lesov severnoi Mongolii [Soil cover and soils of the mountain woods of northern Mongolia]. Novosibirsk, Nauka, 2013. 196.
- 8. Ubugunov V.L., Ubugunova V.I. Soil-forming rocks are the key to understanding the soil formation uniqueness in West Transbaikalia [Pochvoobrazuiushchie porody kak kliuch k ponimaniiu samobytnosti pochvoobrazovaniia v Zapadnom Zabaikal'e. 2017. № 4. pp. 37–50]. Priroda Vnutrennei Azii Nature of Inner Asia, 2017, no. 4, pp. 37–50. DOI: 10.18101/2542-0623-2017-4-37-50.
- 9. Ubugunov L.L., Ubugunova V.I., Badmaev N.B., Gyninova A.B., Ubugunov V.L., Balsanova L.D. Soils of Buryatia: variety, systematization and classification [Pochvy Buriatii: raznoobrazie, sistematika i klassifikatsiia]. Vestnik Buriatskoi gosudarstvennoi sel'skokhoziaistvennoi akademii im. V.R. Filippova Bulletin of the Buryat state agricultural academy of V.R. Filippov, 2012, no. 2, pp. 45–52.
- 10. Aliabina I.O. Otsenka roli pochvoobrazuiushchego potentsiala prirodnykh faktorov v formirovanii pochvennogo pokrova na osnove geoinformatsionnykh tekhnologii: avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk [Assessment of a role of pochvoobrazuyushchy potential of natural factors in formation of a soil cover on the basis of geoinformation technologies: abstract of the Dr.Sci. Biol.]. Moscow, MGU, 2016, 51.

- 11. Ruhovich D.I., Koroleva P.V., Vil'chevskaya E.V., Kalinina N.V. Cifrovaya pochvennaya kartografiya kak smena dostupnyh pervoistochnikov i sposobov ih ispol'zovaniya // Cifrovaya pochvennaya kartografiya: teoreticheskie i ehksperimental'nye issledovaniya. M.: Pochvennyj institut im. V.V. Dokuchaeva. 2012. pp. 58–87.
- 12. McBratney A.B., Mendoca-Santos M.L., Minasny B. On digital soil mapping. Geoderma, 2003, vol. 1, no. 117, pp. 3–52
- 13. Vorob'eva G.A. Pochvy Irkutskoi oblasti: voprosy klassifikatsii, nomenklatury i korreliatsii [Soils of the Irkutsk region: questions of classification, nomenclature and correlation]. Irkutsk, IGU, 2009, 149.
- 14. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. Klassifikatsiia i diagnostika pochv Rossii [Classification and diagnostics of soils of Russia]. Available at: http://soils.narod.ru/obekt/obekt.html (accessed 09.04.2018).
- 15. Sokolov I.A. Existential organization pedosfer and its evolutionary and ecological conditionality [Prostranstvennovremennaia organizatsiia pedosfery i ee evoliutsionno-ekologicheskaia obuslovlennost']. Pochvovedenie Soil science, 1993, no. 7, pp. 13–22.
- 16. Tsybzhitov Ts.Kh., Tsybikdorzhiev Ts.Ts., Davydova M.A., Gonchikov B.M.N. Soils cover patters in the Tugnuisk Depression of The Transbaikal Region [Struktura pochvennogo pokrova Tugnuiskoi kotloviny Zabaikal'ia]. Pochvovedenie Eurasian Soil Science, 2008, no. 8, pp. 928–936.

УДК 553.98

# ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕКВЕНС-СТРАТИГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА В ПОСТРОЕНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ВОССОЗДАНИЯ ЭВОЛЮЦИИ НЕФТЕГАЗОНОСНОГО БАССЕЙНА

#### Уваров Ф.В.

OAO «Сургутнефтегаз», Тюменское отделение «СургутНИПИнефть», Тюмень, e-mail: ufv519@gmail.com

Статья посвящена оценке возможностей использования секвенс-стратиграфического метода в построении геологических моделей для воссоздания эволюции нефтегазоносного бассейна. Задача моделирования геологического строения и процессов формирования резервуаров и залежей углеводородного сырья для минимизации геологических рисков на всех этапах геологоразведочных работ обусловлена потребностью оптимизации их промышленного освоения. Анализ историко-геологической эволюции осадочных отложений имеет ключевое значение для открытия и понимания процессов нефтегазообразования и нефтегазонакопления, что актуально для оценки перспектив нефтегазоносности особенно глубоких горизонтов, достигающих 4 и более км, особенно слабоизученных в процессе геофизических исследований и/ или бурения. Автором проведен анализ возможностей секвенс-стратиграфического метода, позволяющего в совокупности с другими геологическими и геофизическими методами достоверно воссоздавать эволюцию нефтегазоносного бассейна, что в свою очередь позволяет моделировать литолого-структурные ловушки на разных стадиях геологоразведочных работ. В работе рассмотрена иерархия подразделений секвенсной стратиграфии и принципы выделения секвенсов и парасеквенсов. Суть метода секвенс-стратиграфии заключается в выявлении особенностей формирования седиментационных бассейнов и шельфовой зоны, где осадконакопление шло в переменных морских, лагунноконтинентальных и континентальных условиях. Максимально результативно секвенс-стратиграфический метод используется в пределах стабильных (пассивных) шельфов и некомпенсированных впадин платформ в процессе детального изучения стратиграфических, литолого-фациальных и палеогеографических условий. Сделан вывод о том, что использование данного вида стратиграфического анализа позволяет строить отдельно геологические модели на каждую стадию геологоразведочных работ. При этом взятая за основу региональная геологическая модель, построенная на основе секвенс-стратиграфии, позволяет после соответствующих дополнений использовать ее на следующей стадии геологоразведочных работ.

Ключевые слова: нефтегазоносный бассейн, геологическое моделирование, секвенс-стратиграфический метод, секвенс, парасеквенс, эвстазия, эпейрогения, клиноформа

### THE POSSIBILITY OF USING SEQUENCE STRATIGRAPHIC METHOD TO BUILD GEOLOGICAL MODELS FOR THE RECONSTRUCTION OF EVOLUTION OF PETROLEUM BASIN

#### Uvarov F.V.

OJSC «Surgutneftegas», Tyumen department «SurgutNIPIneft», Tyumen, e-mail: ufv519@gmail.com

The article is devoted to the evaluation of the possibilities of using the sequential-stratigraphic method in constructing geological models for reconstructing the evolution of the oil and gas basin. The task of modeling the geological structure and processes of formation of reservoirs and hydrocarbon deposits to minimize geological risks at all stages of geological exploration is determined by the need to optimize their industrial development. Analysis of the historical and geological evolution of sedimentary deposits is of key importance for the discovery and understanding of the processes of oil and gas formation and oil and gas accumulation, which is important for assessing the prospects of oil and gas bearing particularly deep horizons reaching 4 km or more, especially poorly studied during geophysical research and / or drilling. The author analyzed the possibilities of the sequentialstratigraphic method, which together with other geological and geophysical methods, reliably recreates the evolution of the oil and gas basin, which in turn allows modeling of lithological-structural traps at different stages of geological exploration. The work deals with the hierarchy of sequential stratigraphic units and the principles of sequencing and parasequences. The essence of the method of sequential stratigraphy is to identify the features of the formation of sedimentary basins and the shelf zone where sedimentation occurred in variable marine, lagoon-continental and continental conditions. The sequencing-stratigraphic method is most efficiently used within the stable (passive) shelves and uncompensated basins of the platforms in the process of detailed study of stratigraphic, lithologic-facial and paleogeographic conditions. It is concluded that the use of this type of stratigraphic analysis makes it possible to build geological models separately for each stage of geological prospecting. At the same time, the regional geological model, built on the basis of sequential stratigraphy, allows to use it after the corresponding additions at the next stage of geological exploration.

Keywords: oil and gas basin, geological modelling, sequence stratigraphic method, sequence, parasequence, astasia, epeirogeny, clinoform

В современной литературе обоснованно устоялось мнение о том, что успех всякой геологоразведочной кампании находится в зависимости от адекватного сочетания

базовых геологических элементов и процессов, проходивших в конкретной области недр в прошлые геологические эпохи. Таким образом, моделирование осадочных

бассейнов и нефтегазоносных систем дает возможность современным геологам и геофизикам понимать динамику развития осадочных бассейнов и связанных с ними флюидов, чтобы определить пригодность условий предыдущих геологических периодов для заполнения углеводородами возможных пластов-коллекторов и накопления в них.

Общая задача моделирования геологического строения и процессов формирования резервуаров и залежей углеводородного сырья для минимизации геологических рисков на всех этапах геологоразведочных работ обусловлена задачами оптимизации их промышленного освоения. При этом исследование историко-геологической эволюции осадочных отложений имеет ключевое значение для открытия и понимания процессов нефтегазообразования и нефтегазонакопления, что актуально для оценки перспектив нефтегазоносности особенно глубоких горизонтов, достигающих 4 и более км, особенно слабоизученных в процессе геофизических исследований и/ или бурения.

#### Материалы и методы исследования

С целью обоснования применения секвенс-стратиграфического метода использовались интерпретированные данные ГИС более чем по 12 тыс. поисково-разведочным и эксплуатационным скважинам, данные 3D сейсмостратиграфии по 63 месторождениям Западно-Сибирского бассейна.

Комплексированием аналитических способов обработки информации определены особенности литологии, литофаций, стратиграфических секвенсов, условий осадконакопления в нефтегазоносных резервуарах. По результатам проведено картирование секвенсов клиновидного морфологического типа. Проведено построение геологических моделей соответствующим программным продуктом с учетом секвенсстратиграфического метода, данных по сейсморазведке методом отраженных волн (МОГТ) и каротажу, материалы по исследованию керна, а также биостратиграфические методы.

### Результаты исследования и их обсуждение

Выявление динамики особенностей формирования глубокопогруженных отложений ряда российских нефтегазоносных бассейнов потребовало разработки специальной технологии построения комплексных специализированных разрезов, демон-

стрирующих эволюцию осадочного чехла. Такого рода реконструкция предполагает исследование всей глубины осадочных отложений. В данном случае разрезы показывают динамику в геологическом времени целой группы параметров. В частности, это этапы осадконакопления и его отсутствия, также это скорость накопления осадков. Таким образом, можно выявить особенности погружения осадочных отложений или же общего подъема территории (инверсии), равно как и относительно стабильного развития. Разрезы выявляют условия осадконакопления, а также мощности стратиграфических подразделений и внедрившихся интрузий [1, с. 9–10].

Мы исходим из того, что вопросы построения модели следует решать современными методами сейсморазведки, применяя вошедшую в употребление высокую разрешающую способность, а также интерпретацию геолого-геофизического материала. Особое значение здесь приобретает использование секвенс-стратиграфического метода. Следует отметить, что наибольший эффект от применения секвенс-стратиграфического метода проявляется в период отработки нефтегазосодержащих резервуаров, когда большое внимание уделяется седиментационной структуре месторождений.

Суть метода секвенс-стратиграфии заключается в выявлении особенностей формирования седиментационных бассейнов и шельфовой зоны, где осадконакопление шло в переменных морских, лагунноконтинентальных и континентальных условиях. Базовая единица «секвенс» – есть последовательность генетически связанных слоев, образованных в течение одного трансгрессивно-регрессивного цикла. Секвенсы делятся на систему трактов - латеральных фациальных рядов, образованных в разных условиях седиментации (рисунок). Принято вычленять тракт низкого стояния (ТНС) уровня моря, трансгрессивный тракт (ТТ) и тракт высокого стояния (ТВС) [2]. ТНС формируется в условиях снижения уровня моря и осушении бассейна, когда береговая линия постепенно смещается к морю. Осадки в данном случае характеризуются чередованием песчаников, алевролитов, а также менее часто – карбонатов. Трансгрессивный тракт формируется в процессе подъема уровня моря, сопровождающегося сменой в сторону континента направления осадконакопления. По причине дефицита крупнозернистых осадков с областей сноса образуются мощные глинистые и известняковые толщи. ТВС формируется на максимуме трансгрессии. Осадки здесь высококарбонатные (известняки), служат маркирующими горизонтами при корреляции разрезов [3, с. 200].

Очевидно, что основное внимание при поисках и разведке углеводородов сосредоточено на структурных ловушках, расположенных в том числе на шельфе и в верхних частях континентальных склонов, вследствие чего поисковые работы на углеводородное сырье становятся более трудоемкими и дорогими. Именно в подобных случаях эффективно комбинирование таких методов, как геофизическое исследование скважин и 3D сейсмостратиграфия для выявления особенностей литологии, литофаций, стратиграфических секвенсов, условий осадконакопления в нефтегазоносных резервуарах.

Особенности метода секвенс-стратиграфии заключаются в ее возможности быть примененной как в зрелых, так и в формирующихся нефтегазоносных бассейнах, где модельные построения и фактический материал позволяют достоверно прогнозировать как латеральное, так и вертикальное изменения фаций.

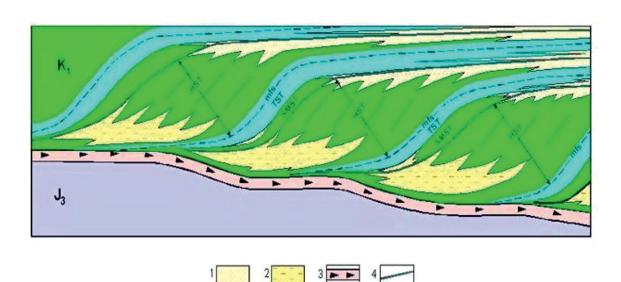
Современная концепция, методика и терминология секвенс-стратиграфии разработана американскими геологами-нефтя-

никами [4, с. 146; 5, с. 311], которые установили флуктуации морского уровня начиная с мезозоя магнито- и хроностратиграфическими привязками, а также с радиометрической датировкой по пепловым горизонтам, развитым преимущественно в разрезах Внутреннего бассейна США.

Наиболее результативно секвенс-стратиграфический метод используется в пределах стабильных (пассивных) шельфов и некомпенсированных впадин платформ в процессе детального изучения стратиграфических, литолого-фациальных и палеогеографических условий. При поисковых работах данный метод эффективен для прогнозирования качества нефтегазосодержащих толщ и ареала их распространения, при поисках литологически экранированных залежей.

Стратиграфические подразделения, применяемые в секвенс-стратиграфии, относятся к группе специальных подразделений. Они выделяются как в терригенных, так и в карбонатных отложениях.

Общепринятая иерархия подразделений, используемых в секвенсной стратиграфии, на сегодняшний день еще не выработана. Их следует ранжировать следующим образом (от мелкомасштабных к крупномасштабным): мегасеквенс, суперсеквенс, секвенс и парасеквенс.



Седиментационная модель секвенса: 1) песчаные шельфовые пласты; 2) песчано-алевритовые дистальные пласты; 3) битумнозные аргелиты баженовской свиты; 4) границы секвенсов 2 типа III порядка; HST – системные тракты высокого стояния (highstanding tract); TST трангрессивные системные тракты (transgressive system tract)

В основу метода положено выделение на основании геолого-геофизических данных основной седиментационной единицы — секвенса. Собственно, секвенс представлен накопившимися в данном бассейне за один цикл колебательных движений моря отложениями, которые имеют более или менее согласное залегание и общую генетику, при этом они, как правило, отделяются друг от друга угловыми и/или стратиграфическими несогласиями. Секвенсы преимущественно являются региональными подразделениями и распространены в пределах всего седиментационного бассейна, хотя зачастую явно выделяются лишь в краевых мелководных частях.

На формирование секвенсов влияют такие факторы, как эвстатические колебания уровня моря, эпейрогенические движения земной коры, а также изменение количества осадков, сносимых в бассейн в течение данного цикла. При этом вносимый вклад каждого из факторов может отличаться в разных районах.

Большое значение в формировании секвенсов имеет эвстазия. Так в фанерозое выделяются циклы эвстатических колебаний пяти порядков продолжительностью от сотен миллионов до десятков тысяч лет. Ряд исследователей [6–10] отмечает, что формирование секвенсов связано с циклами эвстатических колебаний третьего (продолжительностью 1–5 млн лет), а иногда четвертого (0,25–1 млн лет) порядков. Таким образом, время формирования в среднем составляет 2–3 млн лет.

В зависимости от стадийности работ при построении геологических моделей возможно оперировать не только с непосредственно секвенсами, но и с суперсеквенсами, формировавшимися в периоды эвстатических колебаний второго порядка (10–80 млн лет). При этом для суперсеквенсов характерно отделение их друг от друга региональными поверхностями несогласий, что значительно облегчает работу.

Морфология секвенсов весьма разнородна, могут быть представлены тела от субгоризонтальных (плоскопараллельных и линзовидных) до относительно крутона-клонных (клиновидной формы). В последнем случае они сложены исключительно терригенными породами с отчетливо наблюдающимся первичным наклоном слоев. Возможно выделение клиноформ, сформированных в различных условиях стояния моря (низкого и высокого).

В пределах крупных бассейнов секвенсы клиновидной морфологии, имеющие

углы залегания слоев до 5° и характерные для малых глубин, достигают ширины до первых десятков и протяженности до тысячи километров. Типичным примером области распространения секвенсов данного морфологического типа является Западно-Сибирский бассейн (неокомские клиноформы).

В ряде случаев наблюдается группировка клиновидных секвенсов, образовавшихся в результате заполнения некомпенсированных впадин, которые можно выделить в отдельные клиноформные серии секвенсов. В пределах этих серий отдельные секвенсы накладываются друг на друга в условиях бокового наращивания, т.е. происходит их омолаживание от береговой линии к глубинным частям.

Картирование секвенсов клиновидного морфологического типа представляется весьма важным, поскольку именно в них зачастую содержатся основные нефтегазоносные резервуары. При построении геологических моделей в данных случаях наряду с секвенс-стратиграфическим методом необходимо использовать данные по сейсморазведке методом отраженных волн (МОГТ) и каротажу, материалы по исследованию керна, а также биостратиграфические методы.

В построении геологических моделей значимая роль отводится изучению литологического состава пород. Однако зачастую затруднительно или невозможно учитывать закономерности, проявляющиеся в отдельных выделенных слоях или толщах. В подобных случаях в рамках секвенс-анализа возможно выделять отдельные группы слоев, именуемые циклитами или парасеквенсами, в пределах которых гранулометрический состав отложений закономерно увеличивается или уменьшается по вертикали и латерали. Подошва и кровля парасеквенса образуются в результате изменения уровня моря. В случае резких колебаний границы циклитов будут четкими, при постепенной смене режимов – размытыми.

Поскольку колебания уровня моря на определенных этапах истории Земли носили циклический характер, часто можно наблюдать группы парасеквенсов, сформировавшихся на некоторой части цикла колебательных движений, называемых пакетами парасеквенсов.

Очевидно, что в зависимости от ландшафтных условий будут формироваться разные по закономерностям изменения литологического состава типы пакетов парасеквенсов: регрессивный (проградационный) — при отступающем море, трансгрессивный (ретроградационный) — при наступающем море и аградационный — характеризующий относительно стабильное состояние морского бассейна.

Таким образом, описанные выше пакеты парасеквенсов представляют собой отдельные осадочные системы или латеральные фациальные ряды, формирование которых происходило в различных условиях осадконакопления с определяющим контролем положения уровня моря.

Так, при снижении уровня моря ниже бровки шельфа на формирование фациальных рядов существенное влияние оказывают потоки подводных каньонов. Отложения представлены, как правило, турбидитами и подстилающими подводными конусами выноса с формированием седиментационного клина наступающей суши (проградационный клин).

Напротив, в случае подъема уровня будет формироваться фациальный ряд трансгрессивного типа пакета парасеквенсов. При этом вследствие дефицита осадков в глубоководной части бассейна происходит формирование глинистого конденсированного разреза.

Трансгрессивный фациальный ряд высокого, относительно стабильного, уровня моря обычно представлен аградационным пакетом парасеквенсов, переходящих в связи со снижением темпов подъема в клиновидные формы «наступающей суши», которые в зашельфовой области формируют тончайший глинистый покров.

Для кровельной части трансгрессивного фациального ряда характерна поверхность максимального затопления области, осадки которого являются маркирующими горизонтами и используются при сопоставлении разрезов. Выделение поверхностей максимального затопления по данным сейсморазведки, в обнажениях, керне скважин и при каротаже, а также их присутствие во всех типах секвенсов служат основанием для проведения по этим поверхностям их границ.

В ряде случаев, особенно в зоне развития крупных эстуариев, например вдоль побережья Индийского океана, наблюдается чередование трансгрессивного и регрессивного фациальных рядов[11]. Подобное происходит за счет резкой суточной смены режима питания устья рек. При приливном повышении уровня моря, когда результирующая сила речного потока падает с формированием трансгрессивного типа осадков.

При понижении уровня моря при отливе, с возрастанием результирующего потока системы река – море, формируются осадки, отвечающие регрессивной фации. Очевидно, что в эстуарии при переходе от прилива к отливу и наоборот существуют точки высокого и низкого стояния уровня моря соответственно.

Следовательно, осадки в устьях рек представляют собой закономерное чередование слабосортированных морских песков, тонкоплитчатых глин, косослоистых конусов выноса и опять тонкоплитчатых глин, сформированных соответственно при разных условиях приливов и отливов. В этом случае, по мнению авторов, правомочно выделять отдельный регрессивно-трансгрессивный фациальный ряд. Поскольку большинство дельт формируется в сходных сезонных режимах водного баланса, то возможно выделить отдельно дельтовый тип секвенса, который легко можно учитывать при построении геологической модели территории.

Таким образом, автор пришел к выводу о том, что секвенс-стратиграфический метод, оставаясь одним из важнейших видов бассейнового анализа, в то же время позволяет получать и анализировать результаты сопоставления секвенс-стратиграфических схем разных осадочных бассейнов и глобальной эвстатической кривой колебаний уровня Мирового океана. В этом плане метод дает возможность выявлять влияние региональных причин формирования секвенсов, эвстатические и эпейрогенические колебания разных порядков. Для коррелирования секвенс-стратиграфических схем необходимо применение био- и магнито-стратиграфического контроля. Метод позволяет воссоздать приемлемо достоверную эволюцию бассейна с корреляцией разрезов и определением последовательности смены фациальных рядов [11].

#### Выводы

Принимая во внимание имеющуюся возможность иерархии секвенсов от региональных к локальным, а также выделения в их пределах на геолого-генетической основе литологических закономерностей осадков, проведение границ по геолого-тектонически обоснованным объектам в виде поверхностей и разрывов, автор пришел к выводу о возможности использования этого вида стратиграфического анализа в разномасштабном моделировании. Более того, имеющиеся сегодня возможности позволя-

ют постоянно ее дополнять по мере получения геолого-геофизических материалов. Таким образом, уже нет необходимости отдельного построения геологических моделей каждой стадии геологоразведочных работ, так как их с успехом может заменить базовая региональная геологическая модель, построенная на основе секвенс-стратиграфии.

#### Список литературы

- 1. Пестерева С.А. Историко-геологическое моделирование эволюции осадочного чехла в районах развития глубокопогруженных отложений Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна / С.А. Пестерева, С.Г. Попов, А.В. Белоконь // Вестник Пермского университета. Геология.  $-2011.- \text{N} \ 2.-\text{C}.\ 8-19.$
- 2. Маргулис Л.С. Секвенсная стратиграфия в изучении строения осадочных чехлов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. СПб.: ВНИГРИ, 2008. Т. 3. С. 1–26. URL: http://www.ngtp.ru/rub/2/37\_2008.pdf (дата обращения: 02.04.2018).
- 3. Филимонов А.Н. Секвенс-стратиграфия верхнего девона и нижнего карбона (турне) Южно-Минусинской впадины // Вестн. Том. гос. ун-та. -2014. -№ 385. С. 197–205.
- 4. Вейл П.Р. Сейсмическая стратиграфия. Использование при поисках и разведке нефти и газа. Часть 1 / П.Р. Вейл, А.П. Грегори, Р.М. Митчем мл., Р. Шериф; под ред. Ч. Пейтон. М.: Мир, 1982. 375 с.
- 5. Вейл П.Р. Сейсмическая стратиграфия. Использование при поисках и разведке нефти и газа. Часть 2 / П.Р. Вейл, А.П. Грегори, Р.М. Митчем мл., Р. Шериф; под ред. Ч. Пейтон. М.: Мир, 1982.-847 с.
- 6. Габдуллин Р.Р. Секвентная стратиграфия: учебное пособие / Р.Р. Габдуллин, Л.Ф. Копаевич, А.В. Иванов. М.: МАКС Пресс, 2008.-113 с.
- 7. Нургалиева Н.Г. Распознавание строения и условий формирования осадочных комплексов: учебно-методическое пособие по выполнению практических заданий для студентов и аспирантов, обучающихся по направлениям 05.03.01, 05.04.01 «Геология», 21.03.01 «Нефтегазовое дело», 05.06.01 «Науки о Земле» по курсам «Геология и геохимия нефти и газа», «Секвенс-стратиграфия», «Анализ бассейнов осадконакопления», «Основы секвенс- и изотопной стратиграфии для изучения нефтегазоносных комплексов» / Н.Г. Нургалиева. Казань: Казан. ун-т. 2017. 36 с.
- 8. Раимбеков Ю.Х. Условия образования карбонатных отложений триаса и юры Юго-Восточного Памира: автореф. дис... кандид. геолого-минералог. наук. Москва: МГУ, 2015.-20 с.
- 9. Силантьев В.В. Основы стратиграфии: учебно-методическое пособие, Ч. І. / В.В. Силантьев, С.О. Зорина; под ред. А.С. Борисова. Казань: Казан. гос. ун-т, 2009. 81 с.
- 10. Холмовой Г.В. Теоретические основы и методы стратиграфии: учебно-методическое пособие для вузов / Г.В. Холмовой, В.Ю. Ратников, В.Г. Шпуль. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2008.-128 с.

11. Мубарак Матлак Аль-Хаджери, Мариам Аль-Сайед Моделирование осадочных бассейнов и нефтегазоносных систем // Нефтегазовое обозрение. — 2009. —  $\cancel{N}$ 26. — C. 18—37.

#### References

- 1. Pestereva S.A. Popov S.G. Belokon' A.V. Evolutionary Sequence Modeling of the Timano-Pechora Petroleum Basin Deep Burial Rocks [Istoriko-geologicheskoe modelirovanie evoliutsii osadochnogo chekhla v raionakh razvitiia glubokopogruzhennykh otlozhenii Timano-Pechorskogo neftegazonosnogo basseina]. Vestnik Permskogo universiteta Perm University Herald, 2011, no. 2, pp. 8–19.
- 2. Margulis L.S. Sequential stratigraphy in the study of the structure of sedimentary covers [Sekvensnaia stratigrafiia v izuchenii stroeniia osadochnykh chekhlov]. Neftegazovaia geologiia. Teoriia i praktika Petroleum Geology Theoretical and Applied Studies, 2008, no. 3. pp. 1–26. available at: http://www.ngtp.ru/rub/2/37\_2008.pdf (accessed 02.04.2018).
- 3. Filimonov A.N. Upper devonian and lower carboniferous (tournaisian) sequence stratigraphy of the yuzhno-minusinskaya depression [Sekvens-stratigrafiia verkhnego devona i nizhnego karbona (turne) Iuzhno-Minusinskoi vpadiny ]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta Tomsk State University Journal, 2014, no. 385, pp. 197–205.
- 4. Veil P.R. Gregori A.P. Mitchem ml. R.M. Sherif R. pod red. Ch. Peiton. Seismicheskaia stratigrafiia. Ispol'zovanie pri poiskakh i razvedke nefti i gaza. Chast' 1 [Seismic stratigraphy. Use in the search and exploration of oil and gas. Part 1]. Moscow, Mir, 1982, 375.
- 5. Veil P.R. Gregori A.P. Mitchem ml. R.M. Sherif R. pod red. Ch. Peiton. Seismicheskaia stratigrafiia. Ispol'zovanie pri poiskakh i razvedke nefti i gaza. Chast' 2 [Seismic stratigraphy. Use in the search and exploration of oil and gas. Part 2]. Moscow, Mir, 1982, 847.
- Gabdullin R.R. Kopaevich L.F. Ivanov A.V. Sekventnaia stratigrafiia [Sequential stratigraphy]. Moscow, MAKS Press, 2008 113
- 7. Nurgalieva N.G. Raspoznavanie stroeniia i uslovii formirovaniia osadochnykh kompleksov [Recognition of the structure and conditions of formation of sedimentary complexes]. Kazan, izdatel'stvo Kazanskogo universiteta, 2017, 36.
- 8. Raimbekov Iu.Kh. Usloviia obrazovaniia karbonatnykh otlozhenii triasa i iury Iugo-Vostochnogo Pamira [Conditions for the formation of carbonate deposits of the Triassic and Jurassic Southeast Pamirs]. Moscow, izdatel'stvo MGU, 2015, 20.
- 9. Silant'ev V.V. Zorina S.O. pod red. Borisova A.S. Osnovy stratigrafii: uchebno-metodicheskoe posobie, Ch. I. [Fundamentals of stratigraphy: a teaching aid, Ch. I.]. Kazan, izdatel'stvo Kazanskogo universiteta, 2009, 81.
- 10. Kholmovoi G.V. Ratnikov V.Iu. Shpul' V.G. Teoreticheskie osnovy i metody stratigrafii [Theoretical bases and methods of stratigraphy]. Voronezh, izdatel'stvo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, 2008, 128.
- 11. Mubarak Matlak Al'-Khadzheri. Mariam Al'-Saied Modeling of sedimentary basins and oil and gas bearing systems [Modelirovanie osadochnykh basseinov i neftegazonosnykh sistem]. Neftegazovoe obozrenie Oil and Gas Business, 2009, no. 6, pp. 18–37.

УДК 504.064(571.63)

## ЭКОЛОГО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЧНОЙ ВОДЫ ВОДОТОКОВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПО СОДЕРЖАНИЮ ДЕТЕРГЕНТОВ

#### Шишлова М.А.

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Школа педагогики, Уссурийск, e-mail: shishloval@rambler.ru

Синтетические поверхностно-активные вещества (детергенты) – это большая группа химических соединений. Они поступают ежегодно в водные объекты в больших количествах с промышленными, бытовыми, сельскохозяйственными стоками. Приводится информация о проведенных исследованиях по содержанию детергентов в водотоках г. Уссурийска (Приморский край) в весенний, летний и осенний периоды 2014-2017 гг. Обследовались р. Комаровка, Раковка и Раздольная. В Приморском крае ежегодно в летние и первый осенний месяцы проходят тайфуны, которые сопровождаются ливневыми дождями и паводками на реках. В весенний период наступает период половодья в результате таяния льдов на реках. Сток рек в этот период становится максимальным, и вынос растворенных загрязняющих веществ усиливается. Наблюдения за содержанием детергентов в водотоках города проводились в сезоны, когда предполагалось повышение их концентраций. Обнаруженные уровни содержания детергентов в водотоках города в целом оказались невысокими. Они не превышали предельно допустимую концентрацию для рыбохозяйственных водоемов, за исключением весенних периодов. На основании проведенных мониторинговых исследований выявлена сезонная изменчивость содержания детергентов в речной воде: высокое содержание в весенний период, снижение уровней содержания детергентов к лету и минимальное значение концентраций СПАВ осенью. Отмечено, что по контролируемому показателю р. Комаровка является более чистой, в сравнении с реками Раковка и Раздольная. В весенние периоды 2015 г. и 2016 г. зафиксированы высокие концентрации детергентов по сравнению с другими периодами года на всех пунктах слежения.

Ключевые слова: детергенты, водотоки, пресные воды, Приморье

## ECOLOGICAL-CHEMICAL ANALYSIS OF RIVER WATER WATERCOURSES IN URBANIZED TERRITORIES ON THE CONTENT OF DETERGENTS Shishlova M.A.

Far Eastern Federal University, School of Pedagogy, Ussuriysk, e-mail: shishloval@rambler.ru

Detergents are a large group of chemical compounds. They come annually into water bodies in large quantities from industrial, municipal, agricultural run-off. Provides information about research on the content of detergents in the waterways of Ussuriisk (Primorsky Krai) in the spring, summer and autumn periods 2014-2017. Surveyed the river Komarovka, Rakovka, Razdolnoe. In Primorsky Krai, typhoons are held annually in the summer and first autumn months, which are accompanied by torrential rains and floods on rivers. In the spring period, there is melting ice on the rivers, and there is a period of high water. The flow of rivers during this period becomes maximum, and the removal of dissolved contaminants increases. Observations of the content of detergents in the watercourses of the city were carried out in seasons when it was supposed to increase their concentrations. The detected concentrations of detergents in the watercourses of the city as a whole turned out to be low. They do not exceed the maximum permissible concentration for fishery bodies of water, except for observations in spring. On the carried out monitoring researches seasonal variability of the content of detergents in river water is revealed: the high content in the spring period, decrease in concentration of detergents by summer and the minimum value in the fall. Noted that at a controlled rate Komarovka is more clean compared to the rivers Razdolnaya, Rakovka. In the spring of 2015 and 2016, there were high concentrations of detergents compared to other periods of the year.

Keywords: detergents, streams, fresh water, Primorye

Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), химические соединения, которые эффективно понижают поверхностное натяжение воды на границе раздела фаз. Их нередко называют детергентами или тензидами [1]. Наряду с хорошо изученными загрязняющими веществами гидросферы (тяжёлые металлы и нефтяные углеводороды), в водотоки поступают детергенты, использование которых часто сопровождается пенообразованием. Большое потребление СПАВ на промышленных предприятиях, а также их использование в быту приводит к большим скоплениям пены

в водотоках и водоемах урбанизированных территорий. Наблюдается опасность отравления рыб, моллюсков. Незначительной концентрации детергентов в пресной воде (до 0,1 мг/л) достаточно, чтобы вызвать активность токсичных веществ, адсорбированных на поверхности донных осадков. Просачивание в почву сточных вод, содержащих СПАВ, может привести к активизации токсичных продуктов, что является угрозой для грунтовых вод. В водотоки детергенты поступают в больших количествах с бытовыми (использование синтетических моющих средств в быту), промышленными

(текстильная, нефтяная, химическая, кожевенная промышленность, производство синтетических каучуков), сельскохозяйственными (входят в состав инсектицидов, фунгицидов, гербицидов и дефолиантов) сточными водами [2, 3].

В поверхностных водах молекулы детергентов находятся преимущественно в растворенном и сорбированном состоянии. Главными факторами понижения концентрации детергентов в речных системах являются процессы биохимического окисления, сорбция взвешенными веществами и донными отложениями. Степень биохимического окисления СПАВ зависит от их химического строения и условий окружающей среды, например, от температуры и рН среды [4]. При биохимическом окислении детергентов отмечено образование различных промежуточных продуктов распада (фенолы, спирты, альдегиды, органические кислоты и др.). С повышением содержания взвешенных веществ и значительным контактом водной массы с донными отложениями скорость снижения концентрации детергентов в воде обычно увеличивается за счет физико-химических явлений, таких как сорбция и соосаждение. В аэробных условиях происходит окисление СПАВ микрофлорой донных осадков, тогда как в анаэробных условиях детергенты могут накапливаться и становиться источником вторичного загрязнения водоема [5].

Многие синтетические поверхностно-активные соединения могут оказывать вредное действие на организм человека: проявлять репродуктивную токсичность, нарушать липидный обмен, обладать кожно-резорбтивным и сенсибилизирующим действием, обладать слабым кумулятивным действием. Отдельные компоненты СПАВ трансформируются с образованием опасных для окружающей среды и здоровья людей соединений [6].

В городах малые реки являются частью урбоэкосистемы, они украшают городскую среду, являются зонами отдыха горожан. Однако их изучением занимаются реже, в сравнении с остальными типами водных объектов урбанизированных территорий.

Цель настоящей работы — дать экологохимическую оценку состояния водотоков урбанизированных территорий (на примере г. Уссурийска) по содержанию в них детергентов.

#### Материалы и методы исследования

Районом работ выбраны основные водотоки города Уссурийска (Приморский край) – реки Раковка, Комаровка, Раздоль-

ная. Город Уссурийск является вторым по величине (после г. Владивостока) городом Приморского края. Исследуемые реки имеют преимущественно дождевое питание, вклад грунтовых вод относительно слабый. Особенностью р. Раковка, Комаровка и Раздольная является высокая динамичность их гидрологического режима, которая характеризуется чёткой изменчивостью по сезонам года и выраженной неравномерностью стоков. Своеобразный гидрологический режим и неустойчивость муссонных осадков обуславливают наличие у исследуемых рек весеннего и летне-осеннего максимального стока и минимального зимнего стока. Преобладание горного рельефа в верхнем течении рек Раковка, Комаровка и Раздольная, малая ёмкость подземных бассейнов рек, слабая пропускная способность русел исследуемых рек в нижнем и среднем течении оказывает влияние на неустойчивость и неравномерность гидрологического режима.

Для р. Раковки, Комаровки и особенно Раздольной характерными являются обильные паводки до середины сентября, иногда до октября, и как следствие – ежегодные в последнее время катастрофические наводнения. Весеннее половодье наступает в апреле – мае, и на него приходится до 20–30% от всего годового стока. Реки Раковка и Комаровка протекают по территории г. Уссурийска, который является вторым по величине городом Приморского края с населением 193 тыс. чел. Эти водотоки испытывают значительный техногенный и антропогенный пресс. Река Раздольная – крупнейшая река южного Приморья, которая в верхнем течении протекает по территории Китайской Народной Республики (КНР). Образуется она слиянием рек Дасуйфынхе и Слосуйфынхе. От места слияния река течет на восток и на территории Приморского края делает поворот до г. Уссурийска. Река Раздольная близко подходит к южной части города и принимает в себя сбросы городских очистных сооружений, далее впадает в Амурский залив (Японское море). Процесс самоочищения в данной реке проходит с умеренной скоростью, высокая интенсивность перемешивания сочетается с достаточной водоносностью на протяжении всего периода открытого русла [7].

Впервые был проведён мониторинг состояния водотоков г. Уссурийска по содержанию детергентов. Пункты отбора проб воды были выбраны таким образом, чтобы можно было проанализировать влияние антропогенного пресса на качество речной воды (табл. 1, рисунок) [8].

Таблица 1

Пункты отбора проб воды в водотоках г. Уссурийска

Пункт	Характеристика
№ 1 – участок р. Комаровка	Относительно экологически благополучный пункт, дает представление о качестве речной воды до воздействия на водоток города
№ 2 – участок р. Комаровка	Расположен после слияния с р. Раковка, низменный район города, подвергается затоплению
№ 3 – участок р. Раковка	Относительно экологически благополучный пункт, дает представление о качестве речной воды до воздействия на водоток города
№ 4 – участок р. Раковка	Расположен перед слиянием с р. Комаровка, загрязненный участок реки, характеризующий воздействие города на водоток
№ 5 – участок р. Раздольная	Относительно экологически благополучный пункт, расположен до вхождения водотока в город
№ 6 – участок р. Раздольная	Расположен после очистных сооружений канализации г. Уссурийска

Материалом исследования послужили результаты наблюдений за уровнями содержания детергентов в пресной воде водотоков города, выполненных в 2014—2017 гг. в летний (июнь, июль, август), осенний (сентябрь, октябрь, ноябрь) и весенний (март, апрель, май) периоды. В Приморском крае в июле — сентябре чаще всего наблюдается прохождение тайфунов, сопровождающихся ливневыми дождями и паводками на реках. В весенний период, в результате таяния льдов, сток рек становится максимальным, наступает половодье.

Пробы воды отбирались ежемесячно на пунктах из поверхностного слоя (до 20 см глубиной), консервировали хлороформом и анализировали не позднее 12 ч после отбора. Анионноактивные СПАВ, которые являются основным компонентом детергентов, определяли спектрофотометрическим методом с метиленовым синим на спектрофотометре UNICO 1200. Метод основан на образовании окрашенного соединения при взаимодействии анионноактивных веществ с метиленовым синим, которые экстрагируются хлороформом [9]. Предлагаемые методы определения детергентов по данной методике применимы для анализа речных пресных вод. Присутствие в пробах воды различных органических веществ не влияет на получаемые результаты. Всего было отобрано и обработано 180 проб воды. Для сравнения степени токсичности детергентов в речной воде взяты величины ПДК СПАВ для рыбохозяйственных водоемов  $(\Pi \coprod K_{p,x})$ , которая составляет 100 мкг/л, тогда как гигиеническая норма по содержанию СПАВ составляет 500 мкг/л. Величина ПДК является наиболее жесткой из всех величин ПДК [10].

### Результаты исследования и их обсуждение

Согласно результатам исследований (табл. 2), чётко прослеживается сезонная изменчивость содержания анионноактивных СПАВ в пробах речной воды из всех наблюдаемых нами водотоков: высоким содержанием детергентов в воде в весенний период, затем снижением концентрации СПАВ к лету и минимальным значением концентраций загрязняющих веществ осенью, что может быть связано с низкой температурой воды (13–15°С) в осенние месяцы, снижающей скорость биодеструкции детергентов.

В летние периоды 2014 г. и 2016 гг. определенный нами диапазон концентраций детергентов составлял от 24 до 48 мкг/л и не превышал ПДК<sub>р.х.</sub> Наименьшее содержание детергентов наблюдались на ст. 1 (верховье р. Комаровка) и станциях 3, 4 (р. Раковка), наибольшее – в водах р. Раздольная.

В осенний период концентрации детергентов в пробах воды со всех станций оставалась на стабильном уровне: от 10 мкг/л до 48 мкг/л и не превышали ПДК В весенний период 2015, 2016 и 2017 гг. определенный нами диапазон концентраций анионных СПАВ составлял от 71 до 332 мкг/л. Особенно высокое содержание детергентов отмечено в пробах из р. Раковка, наблюдалось превышение ПДК $_{p,x}$  в 2,6–3,3 раза, которое можно объяснить воздействием на водотоки недостаточно очищенных сточных вод промышленных предприятий города. Превышение ПДК детергентов в 1,8-2 раза наблюдалось и в весенних пробах 2015 и 2017 гг. В р. Раздольная превышения ПДК детергентов по данному показателю в этот период не выявлено.

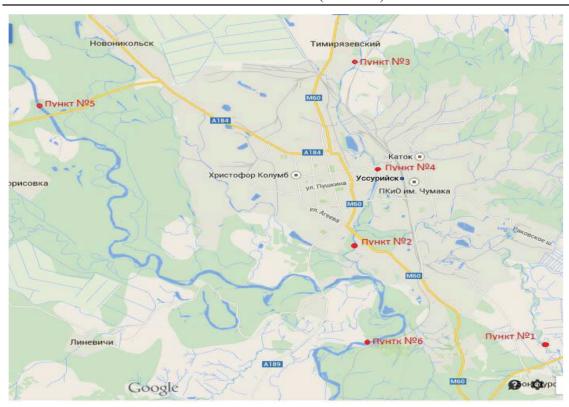


Рис. 1. Схема водотоков г. Уссурийска

**Таблица 2** Содержание детергентов в водотоках г. Уссурийска (Приморский край), (мкг/л)

Дата сбора		осень, 2014 г.	весна, 2015 г.	осень, 2015 г.	весна, 2016 г.	лето, 2016 г.	осень, 2016 г.	весна, 2017 г.	осень, 2017 г.
№ пункта									
				Р. Комаро	вка				
№ 1	$28 \pm 16$	$14 \pm 11$	$180 \pm 17$	$14 \pm 11$	$84 \pm 21$	$24 \pm 11$	$18 \pm 11$	$79 \pm 15$	10 ± 8
№ 2	$41 \pm 12$	$24 \pm 14$	$200 \pm 25$	$27 \pm 11$	$196 \pm 27$	$48 \pm 17$	$33 \pm 13$	$184 \pm 27$	$35 \pm 10$
				Р. Ракові	ca			,	
№ 3	$33 \pm 15$	$14 \pm 12$	$332 \pm 20$	$15 \pm 11$	$284 \pm 29$	$28 \pm 15$	$21 \pm 16$	$261 \pm 26$	$11 \pm 10$
№ 4	$26 \pm 11$	$17 \pm 13$	281 ±	$18 \pm 12$	$329 \pm 20$	$36 \pm 11$	$27 \pm 13$	$294 \pm 27$	$13 \pm 11$
				Р. Раздоль	ная				
№ 5	$31 \pm 12$	$16 \pm 11$	$71 \pm 23$	$20 \pm 14$	$73 \pm 15$	$31 \pm 19$	$29 \pm 18$	$75 \pm 20$	$48 \pm 14$
№ 6	$43 \pm 11$	$22 \pm 12$	$82 \pm 21$	$25 \pm 12$	$84 \pm 19$	$41 \pm 18$	$31 \pm 16$	$88 \pm 21$	$35 \pm 15$

В весенние периоды 2015—2016 гг. зафиксировано высокое содержание СПАВ по сравнению с другими периодами года на всех пунктах слежения. Весной 2017 г. отмечено незначительное снижение концентрации детергентов в речной воде рек Комаровка и Раковка и возрастание концентрации в р. Раздольная по сравнению с аналогичным периодом 2016 г. Весной 2017 г. наблюдается небольшое снижение

содержания детергентов в пунктах № 1 и 2 (р. Комаровка) и пунктах № 3 и 4 (р. Раковка) по сравнению с 2016 г. На р. Раздольная (пункты № 5 и № 6) концентрация СПАВ не достигает уровня ПДК р.х, но наблюдается увеличение концентрации детергентов в весенние периоды 2016 г. и 2017 г. Тенденция к сильному уменьшению концентрации от лета к осени в 2016 г. хорошо прослеживается. В осенний период по мере уменьшения

водности рек концентрации большинства загрязняющих веществ снижаются. Наблюдаемые ранее закономерности: уменьшение концентрации от лета к осени в 2016 г. замечены сильнее. Для прослеживания выявленной закономерности выбрано два пункта: пункт № 1 (р. Комаровка) и пункт № 4 (р. Раковка). Мы видим, что в 2014 г. четко прослеживается тенденция уменьшения концентрация СПАВ от лета к осени в пункте № 1 (р. Комаровка), тогда как в пункте № 4 (р. Раковка) концентрации детергентов равны. В 2016 г. четко прослеживается тенденция уменьшения концентрация от лета к осени в обоих пунктах. Осенний период 2016 г. в г. Уссурийске был богат разрушительными тайфунами, которые прошли над Приморьем, особенно сильным стал Лайонрок. В августе – сентябре 2016 г. выпало много осадков, и многие территории Приморского края были затоплены, наблюдался высокий уровень воды в реках, сильный разлив воды в поймы рек, как следствие этого, к осени 2016 г. видно, что тенденция к уменьшению концентрации СПАВ не прослеживается. Если сравнить показатели осени 2015 г. и 2016 г., то видно, что концентрация детергентов в осенний период 2016 г. выше по всем пунктам слежения по сравнению с аналогичными значениями, полученными в 2015 г.

#### Выводы

На основании проведенных исследований выявлена сезонная изменчивость содержания детергентов в речной воде водотоков урбанизированных территорий: высокое содержание в весенний период, снижение концентрации к лету и минимальное значение осенью. Отмечено, что по контролируемому показателю р. Комаровка является более «чистой». Определённые уровни содержания детергентов в водотоках г. Уссурийска оказались невысокими, в большинстве случаев они не превышали ПДК для рыбохозяйственных водоемов, за исключением наблюдений водотоков р. Раковка и Комаровка в весенний период. В то же время известно, что пороговые концентрации детергентов, влияющих на жизнедеятельность гидробионтов, составляют 100-110 мкг/л [11], следовательно, загрязнение обследованных рек вносит вклад в ухудшение общей химико-экологической ситуации региона. На сегодняшний день содержание детергентов в реках Приморского края остаётся стабильным. Однако превышение ПДК , , , зафиксированное только в весенний период на станциях р. Комаровка, р. Раковка, заставляется задуматься о техногенном, антропогенном и рекреационном прессе на эти водотоки города.

#### Список литературы

- 1. Ложниченко О.В. Экологическая химия: учебное пособие для вузов / О.В. Ложниченко, И.В. Волкова, В.Ф. Зайцев. М.: Академия, 2008.-265 с.
- 2. Новокшанова А.Л. Лабораторный практикум по органической, биологической и физколлоидной химии: учебное пособие / А.Л. Новокшанова. СПб.: ГИОРД, 2009. 224 с
- 3. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы / Под ред. Т.В. Гусевой. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. 192 с.
- 4. Хорошавин В.Ю. Исследование естественных процессов формирования химического состава поверхностных вод с целью оценки критических антропогенных нагрузок и устойчивости водных экосистем таёжной зоны Западной Сибири / В.Ю. Хорошавин, М.Г. Ефименко // Вестник Тюменского государственного университета. 2014. № 12. С. 33—34.
- 5. Агбалян Е.В. Гидрохимические показатели качества природных вод малых озёр бассейна реки Надым / Е.В. Агбалян, Е.В. Шинкарук // Успехи современного естествознания. 2015. № 11–2. С. 186–190.
- 6. Моисеенко Т.И. Водная экотоксикология: Теоретические и прикладные аспекты. /Т.И. Моисеенко. М.: Наука,  $2009.-400~\mathrm{c}.$
- 7. Наумов Ю.В. Экология Приморского края: учебное пособие для вузов / Ю.А. Наумов. Изд-во Института технологии и бизнеса, 2010. 206 с.
- 8. Шишлова М.А. Детергенты в речных водах г. Уссурийска (Приморский край) / М.А. Шишлова, С.А. Ханкова // Научный альманах. 2015. № 5 (7). С. 191–196. URL: http://ucom.ru/doc/na.2015.05.191.pdf. (дата обращения: 05.02.2018).
- 9. Аксенов В.И. Химия воды. Аналитическое обеспечение лабораторного практикума [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.И. Аксенов, Л.И. Ушакова, И.И. Ничкова. Электрон. текстовые данные. Екатеринбург: Уральский федеральный университет, 2014. 140 с. URL: http:// hdl. handle.net/10995/29022 (дата обращения: 20.02.2018).
- 10. Сан ПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод». — 2000.
- 11. Журавель Е.В. Детергенты в водах залива Петра Великого и их влияние на морскую биоту: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 2001. 26 с.

#### References

- 1. Lozhnichenko O.V. Ekologicheskaia khimiia: uchebnoe posobie dlia vuzov [Environmental chemistry: textbook for universities]. Moscow, Akademiia, 2008, 265.
- 2. Novokshanova A.L. Laboratornyi praktikum po organicheskoi, biologicheskoi i fizkolloidnoi khimii: uchebnoe posobie [A laboratory course in organic, biological and physcolloidal chemistry: textbook]. St. Petersburg, GIORD, 2009, 224.
- 3. Guseva T.V. Gidrokhimicheskie pokazateli sostoianiia okruzhaiushchei sredy: spravochnye materialy [Hydrochemical environmental indicators: reference materials]. Moscow, FORUM: INFRA-M, 2007, 192.
- 4. Khoroshavin V.Iu The study of natural processes of formation of chemical composition of surface waters for the purpose of estimating the critical anthropogenic load and sustainability of aquatic ecosystems of the taiga zone of Western Siberia [Issledovanie estestvennykh protsessov formirovaniia khimicheskogo sostava poverkhnostnykh vod s tsel'iu otsenki kriticheskikh antropogennykh nagruzok i ustoichivosti vodnykh

- ekosistem taezhnoi zony Zapadnoi Sibiri ]. Vestnik Tiumenskogo gosudarstvennogo universiteta Bulletin of Tyumen state University, 2014, no. 12, pp. 33–34.
- 5. Agbalian E.V. Hydrochemical indicators of quality of natural waters of small lakes of the Nadym river basin [Gidrokhimicheskie pokazateli kachestva prirodnykh vod malykh ozer basseina reki Nadym]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia Progress of modern natural Sciences, 2015, no. 11, pp. 186–190.
- 6. Moiseenko T.I. Vodnaia ekotoksikologiia: Teoreticheskie i prikladnye aspekty [Aquatic ecotoxicology: Theoretical and applied aspects]. Moscow, Nauka, 2009, 400.
- 7. Naumov Iu.V. Ekologiia Primorskogo kraia: uchebnoe posobie dlia vuzov [Ecology of Primorsky Krai: textbook for universities]. Vladivostok, Izd-vo Instituta tekhnologii i biznesa, 2010, 206.
- 8. Shishlova M.A. Detergents in rivers of Ussuriisk (Primorsky Krai) [Detergenty v rechnykh vodakh g. Ussuriiska (Pri-

- morskii krai)]. Nauchnyi al'manakh Scientific almanac, 2015, vol. 7, no. 5. URL: http://ucom.ru/doc/na.2015.05.191.pdf. (accessed 05.02.2018).
- 9. Aksenov V.I. Himija vody. Analiticheskoe obespechenie laboratornogo praktikuma [Jelektronnyj resurs]: uchebnoe posobie [Water chemistry. Analytical support of laboratory work [Electronic resource]: a tutorial]. Yekaterinburg. Ekaterinburg: Ural'skij federal'nyj universitet, 2014. 140 p. URL: http://hdl.handle.net/10995/29022 (accessed: 20.02.18).
- 10. SanPiN 2.1.5.980-00 «Gigienicheskie trebovanija k ohrane poverhnostnyh vod». [SanPiN 2.1.5.980-00 «Hygienic requirements to surface water protection»]. 2000.
- 11. Zhuravel' E.V. Detergenty v vodakh zaliva Petra Velikogo i ikh vliianie na morskuiu biotu: Avtoref. Dis... kand. biol. nauk [Detergents in the waters of Peter the Great Bay and their influence on marine biota: the author. Dis... kand. Biol. sciences']. Vladivostok, 2001, 26.

УДК 549.6

## ВАНАДИЙ В КРИСТАЛЛАХ БЕРИЛЛА РАЗЛИЧНОЙ ОКРАСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШЕРЛОВАЯ ГОРА (ЮГО-ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

#### <sup>1</sup>Юргенсон Г.А., <sup>2</sup>Борзенко А.А.

<sup>1</sup>ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии» Сибирского отделения Российской академии науки, Чита, e-mail: yurgga@mail.ru;

 $^2$ ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», Чита, e-mail: avonanik@mail.ru

Впервые на примере 31 различно окрашенных кристаллов берилла висмут-бериллий-олово-вольфрамового месторождения Шерловая Гора в Юго-Восточном Забайкалье выполнено сравнительное изучение содержания в нем примеси ванадия и железа. В жильных телах, локализованных в грейзенах, находятся кристаллы берилла ювелирного качества. Они представлены бесцветными кристаллами, аквамарином, зеленым бериллом и золотистым гелиодором. В них широко развита ростовая зональность. Ранние зоны обычно бесцветны. Они по мере роста кристалла сменяются голубыми, зеленовато-голубыми, зелеными и желтыми различных оттенков. Установлено, что максимальные концентрации ванадия (среднее значение 0,0016 мас. %) типичны для кристаллов берилла зелёного цвета, а минимальные – для бесцветного, бледно-голубого и ярко-голубого (среднее значение 0,0005 мас. %). Среднее содержание железа минимально в зеленых кристаллах берилла (0,44 мас. %). В кристаллах голубого и оливково-зеленого цвета оно максимально (0,65-1,02 мас. %). Содержание ванадия в бесцветных кристаллах берилла минимально вследствие того, что здесь максимально содержание алюминия, занимающего октаэдрические позиции, которые может занимать ванадий. В зеленых кристаллах берилла максимальное содержание ванадия обусловлено минимумом содержания железа в октаэлрических позициях. Определена тенденция к обратной зависимости содержаний ванадия в кристаллах берилла от примеси трехвалентного железа в октаэдрических позициях. Цветовая зональность кристаллов обусловлена соотношением примесей двух- и трехвалентного железа и ванадия. Максимальные содержания ванадия в кристаллах берилла зеленого цвета Шерловой Горы указывают на возможность присутствия среди них ванадиевых изумрудов. Высказано предположение о необходимости исследований берилла Шерловой Горы для выявления изумрудной минерализации, что может существенно повысить его экономическую привлекательность.

Ключевые слова: берилл, ванадий, железо, изоморфизм, Шерловая Гора

#### VANADIUM IN BERYL CRYSTALS OF DIFFERENT COLORS OF SHERLOVAYA GORA DEPOSIT (SOUTH-EASTERN TRANSBAIKALIA)

#### <sup>1</sup>Yurgenson G.A., <sup>2</sup>Borzenko A.A.

<sup>1</sup>Institute of natural resources, ecology and Cryology, Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, e-mail: yurgga@mail.ru;

<sup>2</sup>Transbaikal State University, Chita, e-mail: avonanik@mail.ru

For the first time, a comparative study of the content of vanadium and iron impurities in it has been carried out on the example of 31 differently colored beryl crystals of bismuth-beryllium-tin-tungsten deposit Sherlova Gora in the Southeast Transbaikalia. In vein bodies, localized in greisens, there are crystals of beryl of jewelry quality. They are represented by colorless crystals, aquamarine, green beryl and golden heliodor. In them, the growth zoning is widely developed. The early zones are usually colorless. As the crystal grows, they alternate with blue, greenishblue, green and yellow in different shades. It was found that the maximum vanadium concentrations (mean 0.0016 wt.%) Are typical for beryl crystals of green color, and the minimum values for colorless, pale blue and bright blue (mean value 0.0005 mass%). The average iron content is minimal in green beryl crystals (0.44 wt%). In crystals of blue and olive green, it is maximally (0.65 - 1.02 mass%). The content of vanadium in colorless beryl crystals is minimal due to the fact that here the maximum content of aluminum occupying octahedral positions, which can occupy vanadium. In green beryl crystals, the maximum content of vanadium is due to the minimum iron content in the octahedral positions. The tendency to the inverse dependence of the contents of vanadium in beryl crystals on the admixture of ferric iron in octahedral positions is determined. The color zoning of the crystals is due to the ratio of the impurities of two- and trivalent iron and vanadium. The maximum content of vanadium in the crystals of beryl green Sherlovaya Gora indicate the possibility of the presence among them vanadium emeralds. It is suggested that the Sheryl Mountain beryl should be investigated to reveal emerald mineralization, which can significantly increase its economic attractiveness

Keywords: beryl, vanadium, iron, isomorphism, Sherlovaya Gora ore deposit

Берилл представляет собою островной силикат бериллия и алюминия,  $Be_3Al_2Si_6O_{18}$ , ряд разновидностей которого с древнейших времен используется как благородный и дорогой ювелирный камень. Известно, что в качестве изоморфных примесей в берил-

ле могут присутствовать  $Cr^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ , Mg, Ca, Mn,  $Ti^{3+}$ ,  $V^{3+}$ ,  $Ga^{3+}$ ,  $Ge^{4+}$ , B, P. Принято считать, что ванадий изоморфно замещает ионы алюминия в октаэдрических позициях по схеме изовалентного изоморфизма  $V^{3+}_{VI} \rightarrow Al^{3+}_{VI}$ , что подтверждено новыми

исследованиями [1]. По литературным данным содержание  $V_2O_3$  в природном берилле находится в широких пределах и может достигать 3%, а  $Cr_2O_3-0.3\%$  [2], в единичных случаях в изумрудах Афганистана (Хенч) примесь  $Cr_2O_3$  по нашим данным достигает 2,56%.

Среди окрашенных кристаллов берилла наибольшую ценность, как известно, представляют зеленовато-голубые аквамарины и разных оттенков зеленого цвета изумруды. Цвет изумруда обычно обусловлен незначительной примесью хрома. В.М. Гольдшмидт обнаружил, что в зеленых бериллах из пегматитов месторождения Эйдсволл, Норвегия, содержится больше ванадия, чем хрома, и на основании этого факта пришел к выводу, что трехвалентный ванадий может играть в берилле ту же роль, что и хром. Позже в этих бериллах определили до 1,29 мас. % V,O<sub>3</sub> [3].

Это послужило возникновению представлений о том, что к изумрудам следует относить зеленые бериллы, содержащие не только хром, но и ванадий. Вопрос остается дискуссионным, хотя по определению «Геммологическго словаря» В.В. Буканова [4, с. 27] к изумрудам следует относить только зеленые бериллы с примесью хрома. Однако этот же автор (стр.19) указывает на добычу ванадиевых изумрудов из крупных месторождений Салининха, Соктоу и Карнаиба в штате Байя в Бразилии, в которых ванадий сопровождается заметным количеством железа и лишь следами хрома. Как оказалось, даже наиболее высококачественные изумруды Колумбии содержат больше ванадия, чем хрома, а также железо. По данным О.Н. Лопатина [1], О.Н. Лопатина и др. [5, 6] в бесхромистых изумрудах Бразилии и Пакистана наряду с трехвалентными ионами ванадия в октаэдрической позиции могут присутствовать комплексы ванадила (VO<sub>2</sub>) с четырехвалентным ванадием, который проявляется на оптических спектрах поглощения зеленого берилла после имплантации ионов ванадия и отжига. Поэтому в настоящее время нет единого мнения о том, что только хромистые бериллы стоит относить к изумрудам.

По этой причине весьма актуальным является изучение содержания и распределения ванадия в кристаллах берилла, а также железа в месторождении ювелирного берилла Шерловая Гора.

Месторождение Шерловая Гора является составной частью Шерловогорского рудного района, находится на юго-востоке

Забайкальского края, в Борзинском административном районе, северо-восточнее поселка Шерловая Гора (рис. 1).



Рис. 1. Местоположение месторождеия Шерловая Гора

Здесь расположено висмут-бериллийолово-вольфрамовое месторождение Шерловая Гора, крупное олово-полиметаллическое месторождение Сопка Большая и находящееся к востоку от него месторождение Восточная аномалия. Ванадий является одним из редких примесных элементов, входящих в состав бериллий-висмут-олововольфрамовых руд Шерловогорского рудного поля. Месторождение локализовано в апогранитных грейзенах. Описание его дано в [7] и потому в данной работе не рассматривается.

В продуктивных на камнесамоцветное сырье жильных телах Шерловой Горы развиты кристаллы берилла различной окраски, в том числе и зеленой различных оттенков и яркости. Присутствуют его ювелирные разновидности, пригодные для фасетной огранки, изготовления кабошонов и галтованной продукции. Общие запасы и ресурсы ювелирного бериллового кристаллосырья составляют около 12 т, а сырья для извлечения бериллия более 3 тыс. т [7].

Среди бериллов Шерловой Горы развиты: почти бесцветные кристаллы, голубые различных оттенков (аквамарин), зеленые (зеленый берилл), желтые и зеленовато желтые различных оттенков, в том числе золотистый гелиодор, а также переходные цветовые разности.

#### Материалы и методы исследования

Изучено содержание ванадия и железа в 31 кристалле берилла и их фрагментах (42 проб). В данной работе рассматривается поведение железа и ванадия, образующих изоморфные примеси в берилле. Эти два

химических элемента выбраны, исходя из того, что их соотношения во многом определяют окраску кристаллов берилла, являющуюся одним из главных критериев их качества как ограночного сырья.

Кристаллы берилла отобраны из исторических и современных горных выработок. Они подбирались таким образом, чтобы были представлены основные цветовые разновидности минерала, а также различно окрашенные зоны крупных кристаллов. Один из них, добытый старателями в копи Мелехинской (ШГ -12/35), имеет размеры 11 см по оси с и 7 см по оси а. Пластина, срезанная параллельно пинакоиду, разделена на 11 проб. Другие образцы представляют собою фрагменты кристаллов различной окраски. Они истерты в чистой агатовой ступке пестом, изготовленным из целого кристалла горного хрусталя, лишенного примесей. Анализы выполнены методом ISP MS в лаборатории SGS «Восток Лимитед», зав лабораторией Т.Л. Попова. Все полученные аналитические данные по возможности обработаны методом математической статистики.

### Результаты исследования и их обсуждение

В значительной части кристаллов берилла развита ростовая зональность. Ранние зоны обычно бесцветны. Они по мере роста кристалла сменяются голубыми, зеленовато-голубыми, зелеными и желтыми различных оттенков. Содержания ванадия в берилле Шерловой Горы варьируют в пределах (мас. %) < 0.0005 - 0.004. При этом максимальные значения присущи зелёным (0.001-0.004) индивидам. Минимальные значения примеси ванадия обнаружены

в голубых и оливково-зелёных его цветовых разновидностях (0,0005).

Обобщенные результаты химического анализа кристаллов берилла на ванадий, железо и алюминий приведены в таблице.

Анализ данных таблицы, где приведены средние значения содержаний ванадия в кристаллах берилла разного цвета, показал, что максимальны содержания V (мас. %) в зеленых (0,0016) и в переходных (0,0012) кристаллах. Значительно меньшими содержаниями ванадия отличаются светло-зелёные и голубые (0,0008), ярко-голубые (0,0005) и бледно-голубые (0,0005). Минимальны его содержания в оливковозелёных (0,0005), ярко-голубых (0,0005) и бледно-голубых (0,0005).

Как видно из таблицы, в кристаллах берилла Шерловой Горы наряду с ванадием присутствует железо, содержание которого различно для кристаллов различной окраски. Известно, что железо наряду с хромом и ванадием может замещать алюминий в берилле и определяет его желтую окраску [1]. Поэтому нами была выполнена специальная работа методом ЭПР-спектроскопии по выявлению влияния трехвалентного железа, входящего в октаэдрические позиции, на окраску берилла Шерловой Горы. В результате установлено, что происходит нарастание его доли в ряду: бесцветный → светлоголубой  $\rightarrow$  голубой  $\rightarrow$  светло-зеленый  $\rightarrow$ зеленый  $\rightarrow$  желто-зеленый  $\rightarrow$  желтый  $\rightarrow$ золотистый гелиодор (рис. 2).

Соотношение ванадия и железа в кристаллах берилла различной окраски представлено на рис. 3. Однозначно выявляется тенденция к обратной зависимости содержаний этих примесных элементов в берилле в ряду голубой — зеленый.

Статистические характеристики содержаний ванадия, железа и алюминия	[
в бериллах различной окраски	

Цвет	Элемент и статистические характеристики его содержания, мас.%										
		Ванади	й		Желез	)	Алюминий				
	n	X	σ	n	X	σ	n	X	σ		
Бесцветный	4	0,0005	0,0002	4	0,45	0,0681,	4	9,93	0,0742		
Ярко-голубой	3	0,0005	0	2	1,02	0,1487	2	9,13	0,1131		
Бледно-голубой	3	0,0005	0	3	0,65	0,1709	3	9,48	0,4163		
Зеленовато-голубой	10	0,0008	0	9	0,59	0,1536	9	9,65	0,2073		
Светло-зеленый	3	0,0008	0,0003	3	0,49	0,0387	3	9,52	0,2444		
Желтовато-зеленый	4	0,0012	0,0005	10	0,57	0,0871	10	9,46	0,2057		
Зеленый	8	0,0016	0,0012	8	0,44	0,0772	8	9,77	0,1791		
Зеленовато-желтый	5	0,0006	0,00025	4	0,62	0,0608	4	9,52	0,1902		
Оливково-зеленый	2	0,0005	0	2	0,89	0,1414	2	9,27	0,0424		

 $\Pi$  р и м е ч а н и е . n – число проб, x – среднее содержание,  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение.

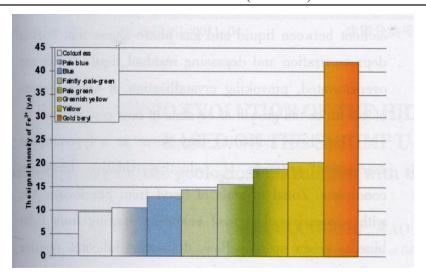


Рис. 2. Возрастание содержания трехвалентного железа в октаэдрической позиции кристаллов берилла различной окраски (По вертикальной оси дана интенсивность позиций трехвалентного железа на ЭПР-спектрах [8])

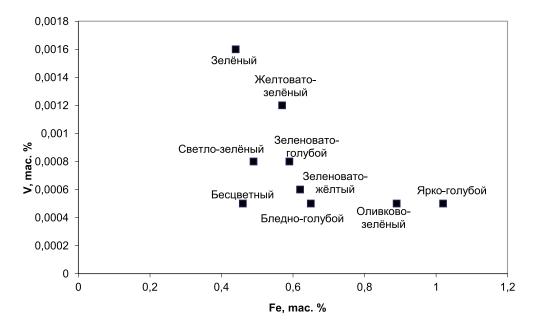


Рис. 3. Содержание Fe и V в бериллах Шерловой Горы

Она начинает проявляться только при содержаниях ванадия более 0,0005% (рис. 3), а железа — менее 0,65%.

Это обусловлено, вероятно, тем, что в ярко-голубом, бледно-голубом и в какойто мере оливково-зеленом берилле основная масса железа находится в тетраэдрической позиции. В них железо замещает бериллий и не оказывает влияния на вхождние в структуру берилла ванадия, заселяющего октаэдрические позиции. А поскольку в зеленых и желтых кристаллах берилла суще-

ственна доля трехвалентного железа и оно должно находиться в октаэдрических позициях, присутствие в минералообразующей системе ванадия, также стремящегося заселять октаэдрические позиции в узлах, которые в лишенном примесей берилле должен занимать алюминий, создает конкуренцию железу, не давая ему встраиваться в свободные позиции алюминия. Одна из причин преимуществ ванадия в этой системе заключается в меньших величинах его ионного радиуса (0,067 нм) и потенциала ионизации

(6,74 эВ) по сравнению с железом (0,073 нм и 7,9 эВ) соответственно. Более того, ионный радиус ванадия ближе к таковому алюминия (0,57 нм), что и определяет преимущественное заселение узлов решетки, предназначенных для алюминия. Заселение октаэдрических позиций ванадием приводит к формированию кристаллов берилла зеленого цвета, содержащих относительно высокие его концентрации. На рис. 3 видно. что проявлена еще и тенденция к прямой зависимости содержаний железа и ванадия. Она прослеживается в ряду: бесцветный ightarrow светло-зеленый ightarrow желтовато-зеленый. Бесцветный берилл характеризуется минимальным содержанием железа (около 0,4 мас. %). В кристаллах светло-зеленого берилла его содержание незначительно увеличивается при возрастании доли ванадия. В желтовато-зеленом берилле доля железа в октаэдрическиой позиции лишь несколько возрастает, о чем свидетельствует появление желтого оттенка, обусловленного трехвалентным железом. При этом доля ванадия, занимающего такие же позиции, возрастает более чем в два раза по сравнению с содержанием его в бесцветном берилле. Обе эти тенденции имеют одну и ту же природу. Здесь важно отметить, что содержащие минимальные количества рассматриваемых примесей бесцветные кристаллы берилла образуются всегда либо в начале процесса роста кристалла, когда алюминия еще достаточно для его встраивания во все узлы структуры кристалла, либо они представляют собою последние генерации, когда примесные элементы уже израсходованы.

#### Выводы

- 1. Содержания ванадия в берилле месторождения Шерловая Гора варьируют в пределах (мас. %) < 0,0005 0,004. При этом максимальные значения присущи зелёным (0,001–0,004) индивидам. Минимальные значения примеси ванадия обнаружены в голубых и оливково-зелёных его цветовых разновидностях (0,0005).
- 2. Ванадий и железо, находящиеся в октаэдрических позициях структуры берилла, являются конкурирующими примесями.
- 3. Максимальные содержания ванадия в зеленых бериллах Шерловой Горы ука-

зывают на возможность присутствия среди них ванадиевых изумрудов и подтверждают ранее высказанные предположения о необходимости исследований для выявления изумрудной минерализации.

#### Список литературы

- 1. Лопатин О.Н. Ионная имплантация минералов и их синтетических аналогов: автореф. дис. . . . д-ра геол.-минер. наук. Казань, 2010.-40 с.
- 2. Годовиков А.А. Минералогия / А.А. Годовиков. М.: Недра, 1983. 647 с.
- 3. Schwarz D. Die chemischer Eigenschaften der Smaragde / D. Schwarz // Z. dtsch. Gemmol. Ges., 1991, 90, № 2–3, pp. 103–143.
- 4. Буканов В.В. Цветные камни. Геммологический словарь / В.В. Буканов. СПб: АОЗТ «Изд-во Медный всадник», 2001.-208 с.
- 5. Лопатин О.Н. Имплантация ионов ванадия в кристаллическую структуру природного берилла / О.Н. Лопатин, Р.И. Хайбуллин, А.Г. Николаев // Изв. вузов. Геология и разведка. -2010. -№ 6. -C. 12–16.
- 6. Лопатин О.Н. Кристаллохимические аспекты имплантации минералов и их синтетических аналогов / О.Н. Лопатин, А.Г. Николаев, Р.И. Хайбуллин // Записки РМО. 2012. Ч. СХLІ, № 1. С. 61–69.
- 7. Yurgenson G.A., Kononov O.V. Sherlova Gora: a Deposit for Gemstones and Rare Metals // Mineralogical Almanac, Ltd. Lakewood, CO80227, USA, 2014, V. 19 issue 2, pp. 12–93.
- 8. Yurgenson G.A., Afanasieva A.S., Kononov O.V., Prokofiev V.Yu. Typomorphic peculiarities of noble beryl varieties from Sherlovaya Montain // Geology and Resources. 2010, Vol. 19, № 1. Aug. P. 28–30.

#### References

- 1. Lopatin O.N. Ionnaya implantaciya mineralov i ih sinteticheskih analogov: avtoref. dis. ... d-ra geol.-miner. nauk. Kazan, 2010. 40 p.
- 2. Godovikov A.A. Mineralogiya / A.A. Godovikov. M.: Nedra, 1983. 647 p.
- 3. Schwarz D. Die chemischer Eigenschaften der Smaragde / D. Schwarz // Z. dtsch. Gemmol. Ges., 1991, 90, no. 2–3, pp. 103–143.
- Bukanov V.V. Cvetnye kamni. Gemmologicheskij slovar / V.V. Bukanov. SPb: AOZT «Izd-vo Mednyj vsadnik», 2001. 208 p.
- 5. Lopatin O.N. Implantaciya ionov vanadiya v kristallicheskuyu strukturu prirodnogo berilla / O.N. Lopatin, R.I. Hajbullin, A.G. Nikolaev // Izv. vuzov. Geologiya i razvedka. 2010. no. 6. pp. 12–16.
- 6. Lopatin O.N. Kristallohimicheskie aspekty implantacii mineralov i ih sinteticheskih analogov / O.N. Lopatin, A.G. Nikolaev, R.I. Hajbullin // Zapiski RMO. 2012. CH. CXLI, no. 1. pp. 61–69.
- 7. Yurgenson G.A., Kononov O.V. Sherlova Gora: a Deposit for Gemstones and Rare Metals // Mineralogical Almanac, Ltd. Lakewood, CO80227, USA, 2014, V. 19 issue 2, pp. 12–93.
- 8. Yurgenson G.A., Afanasieva A.S., Kononov O.V., Prokofiev V.Yu. Typomorphic peculiarities of noble beryl varieties from Sherlovaya Montain // Geology and Resources. 2010, Vol. 19, no. 1. Aug. pp. 28–30.

#### НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 552.08:551.435.14

#### КЛИМАТИЧЕСКАЯ АСИММЕТРИЯ СКЛОНОВ РЕЧНЫХ ДОЛИН Куржанова А.А.

ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, e-mail: akurjan@mail.ru

Среди разнообразных морфологических особенностей рельефа издавна обращает на себя внимание асимметрия склонов речных долин, которая наиболее ярко проявляется в разной их крутизне. Асимметричными называют долины, у которых оба склона являются неодинаковыми, не представляют как бы зеркального отражения один другого. В простейшем случае асимметрия проявляется в разной крутизне правого и левого склонов. Пологие склоны обычно сложены достаточно мощными, часто лессовидными суглинками, под которыми иногда залегают погребенные аллювиальные отложения. Крутые склоны прикрыты маломощными, часто щебнистыми суглинками. Различия в крутизне предопределяют микроклиматические, почвенно-растительные и другие отличия склонов противоположных экспозиций. Существуют разные точки зрения о причинах асимметрии склонов речных долин. Зачастую они взаимоисключающие, вплоть до полного отрицания этого явления, поэтому решение вопроса о причинах асимметрии имеет и научное, и практическое значение. На основании количественного анализа степени выраженности асимметрии склонов речных долин выявлена закономерность изменения асимметрии как в широтном, так и в меридиональном направлении. Для широтно-ориентированных долин основной причиной возникновения асимметрии является инсоляция. Для меридиональных же долин, кроме инсоляции, ведущее значение приобретает характер увлажнения склонового материала. Отсюда следует, что этот тип асимметрии более правильно называть не инсоляционным, как это часто встречается, а климатическим. В зависимости от экспозиции крутого склона широтно-ориентированных долин выделяются северный и южный типы асимметрии. В зависимости от экспозиции крутого склона меридиональных долин в южном и северном типах существуют варианты: атлантический и тихоокеанский

Ключевые слова: климатическая асимметрия, литология горных пород, речные долины, склоны, угол наклона, состав пород

#### CLIMATIC ASYMMETRY OF SLOPES RIVER VALLEYS

#### Kurzhanova A.A.

Kazan (Volga) Federal University, Kazan, e-mail: akurjan@mail.ru

Among various morphological features of a relief the asymmetry of slopes of river valleys which is most brightly shown in their different steepness long since attracts attention. Asymmetric call valleys at which both slopes are unequal, do not represent kind of a specular reflection of one another. In the simplest case the asymmetry is shown in the different steepness of the right and left-hand slopes. Gentle slopes are usually put by rather potent, often lessovidny loams under which buried alluvial deposits sometimes lie. Steep slopes are covered with lowcurrent, often shchebnisty loams. Differences in the steepness predetermine microclimatic, soil and vegetable and other differences of slopes of counter expositions. There are different points of view about the reasons of asymmetry of slopes of river valleys. Often they mutually exclusive, up to the complete negation of this phenomenon therefore the solution of a question of the reasons of asymmetry has both scientific, and practical value. On the basis of the quantitative analysis of degree of expressiveness of asymmetry of slopes of river valleys the regularity of change of asymmetry both in the width, and in the meridional direction is revealed. For the width focused valleys the insolation is the main reason for emergence of asymmetry. For the meridional valleys, except an insolation, the leading value gains the nature of humidification of slope material. From this it follows that it is more correct to call this type of asymmetry not insolyatsionny as it often meets, and climatic. Depending on an exposition of a steep slope of the width focused valleys northern and southern types of asymmetry are allocated. Depending on an exposition of a steep slope of the meridional valleys in the southern and northern types there are still options: Atlantic and Pacific.

Keywords: climatic asymmetry, lithology of rocks, river valleys, slopes, tilt angle, structure of breeds

Асимметрия склонов речных долин представляет собой весьма распространенное явление на всем земном шаре. Существуют разные точки зрения о причинах асимметрии склонов речных долин. Зачастую они взаимоисключающие, вплоть до полного отрицания этого явления, поэтому решение вопроса о причинах асимметрии имеет и научное, и практическое значение. Асимметричными называют долины, у которых оба склона являются неодинаковыми, не представляют как бы зеркального от-

ражения один другого [1, 2]. В простейшем случае асимметрия проявляется в разной крутизне правого и левого склонов. Причины, обуславливающие асимметрию, весьма разнообразны: закон Бэра — Бабине, основанный на ускорении Кориолиса, климат, геологическое строение, наклон поверхности, гидродинамика. Детальное изучение причин выраженности асимметрии склонов показывает, что главными являются закон Бэра — Бабине и климат, остальные проявляются локально.

Сущность закона Бэра — Бабине заключается в том, что на массу движущейся в русле воды, помимо центробежной силы, оказывает влияние и ускорение Кориолиса, возникающее из-за вращения Земли вокруг своей оси. Вследствие этого вода в русле испытывает отклонение от первоначального направления в северном полушарии вправо, в южном — влево. Геоморфологическое проявление этого отклонения в виде разной крутизны склонов характерно для крупных речных долин, развивающихся геологически длительное время [3, 4].

Целью данной работы является установление закономерностей асимметрии склонов речных долин на основании количественного анализа степени выраженности асимметрии, как в широтном, так и в меридиональном направлении.

При дальнейшем изучении этого вопроса были учтены значения максимальных расходов, при которых начинает наблюдаться устойчивое превышение левосторонней поймы над правосторонней [5]. Анализ соотношения ширины право- и левосторонних пойм показал, что отчетливое одностороннее смещение русел рек начинает проявляться на реках Русской равнины при максимальных расходах в среднем около 600 м³/с (табл. 1).

Преобладание левосторонних комплексов пойменных террас над правобережными начинается несколько выше по течению, чем для поймы [6–8].

Наблюдается большой разброс значений расходов, необходимых для начала устойчивого смещения русла вправо, что связано с влиянием местных факторов — тектоно-литологических, геоморфологических и других, которые в одних случаях усиливают, а в других — ослабляют эффект Кориолисова ускорения (табл. 2).

Устойчивое превышение левой поймы над правой говорит о том, что и в современных условиях наблюдается одностороннее смешение русел рек под действием закона Бэра — Бабине.

Надежными признаками планетарного типа можно считать:

- 1) приуроченность крутого склона к правому берегу;
- 2) положение палеоврезов левее современных русел рек;
- 3) максимальные (половодные или паводковые) расходы потока порядка  $600-800 \text{ м}^3/\text{c}$ .

В XX в. получило развитие климатическое обоснование асимметрии. Сюда относятся все гипотезы, которые объясняют асимметрию речных долин влиянием преобладающих ветров, инсоляции, распределением дождя и снега. Главной причиной асимметрии малых эрозионных форм И.С. Щукин (1960) считает инсоляцию. Впервые мысль о влиянии инсоляции на выработку асимметрии склонов речных долин высказали В.В. Докучаев, затем Н.А. Димо, А.Л. Архангельский, С.С. Неуструев [9, 10].

Сейчас существует два принципиально различных подхода к объяснению механизма выработки климатической асимметрии на Русской равнине. Одна группа исследователей территории Русской равнины (Н.А. Димо, А.Л. Архангельсквй, В.Н. Сементовский, В.Ф. Перов, И.С. Щукин) связывают асимметрию с современными условиями и объясняют большую крутизну склонов южной и западной экспозиций высокой активностью склоновых процессов на них. Однако такое объяснение является неверным по существу, ибо активные склоновые процессы могут только выполаживать склон, но не поддерживать и тем более увеличивать его крутизну. Другая группа исследователей этого же региона (С.С. Неуструев, Н.А. Мазарович, А.П. Дедков, Ю.В. Бабанов, Г.П. Бутаков) связывает формирование климатической асимметрии с перигляциальными условиями плейстоцена. Они первыми увидели основную причину асимметрии склонов долин как результат процессов, действующих в иных климатических условиях, т.е. внесли в эту гипотезу палеоклиматический аспект. Наблюдающаяся в настоящее время асимметрия в умеренных широтах является реликтовой [11].

Максимальные расходы, достаточные для смещения

Река	Максимальные расходы, м <sup>3</sup> /с	Река	Максимальные расходы, м <sup>3</sup> /с
Ик	600	Свияга	800
Алатырь	350	Пьяна	720
Кама	650	Пижма	750
Б. Черемшан	350	Обва	600

Таблица 2 Связь величины смещения русла за плиоцен-четвертичное время со средними максимальными расходами (в скобках – % обеспеченности)

устье р. Суры устье р. Свияги выше р. Камы ниже р. Камы г. Ульяновск Жигули г. Сызрань г. Волгоград	р. Волга 13,5 16,0 27,5 77,5 150,0 3,7 130,0	5,6 (18,0) (42,5) (43,0)		
устье р. Свияги выше р. Камы ниже р. Камы г. Ульяновск Жигули г. Сызрань	16,0 27,5 77,5 150,0 3,7	(18,0) (42,5)		
выше р. Камы ниже р. Камы г. Ульяновск Жигули г. Сызрань	27,5 77,5 150,0 3,7	(18,0) (42,5)		
ниже р. Камы г. Ульяновск Жигули г. Сызрань	77,5 150,0 3,7	(42,5)		
г. Ульяновск Жигули г. Сызрань	150,0 3,7			
Жигули г. Сызрань	3,7	(43,0)		
г. Сызрань				
-	130,0			
г Волгоград	2 -			
т. Болгоград	150,0	12,0		
	р. Кама			
устье р. Вятки	5,0	(25,7)		
г. Наб. Челны	4,0	4,5		
устье р. Белой	23,0	4,4		
	р. Вятка			
г. Мамадыш	9,5	(7,0)		
г. Вятские Поляны	8,0	1,3 (6,5)		
ниже г. Советска	0,0	1,0 (5,0)		
	р. Свияга			
устье	10,0	0,07 (0,8)		
р. Карала	6,7	0,04 (0,6)		
г. Ульяновск	6,2	0,02 (0,3)		
	р. Самара			
г. Самара	12,0	(3,9)		
устье р. Кинель	6,0	(1,0)		
	р. Ик			
с. Нагайбаково	6,0	(1,0)		
пос. Московка	4,0	(0,6)		

Эти взгляды получили дальнейшее развитие и уточнение в работах А.Н. Мазаровича (1927, 1930) [5, 11, 12]. Он отнес процессы формирования несимметричных склонов к концу ледниковых эпох, а наибольшую их активность - ко времени отступления днепровского оледенения. По его мнению, образование асимметричных склонов речных долин связано с делювиальными процессами. В результате неравномерности в освещении и нагревании у подножья крутого склона скапливается большое количество обломков, снесенных потоками, возникающими ежегодно от быстрого таяния снега [9, 13]. На противоположном склоне происходит постоянное нарастание делювиального чехла, отражающегося на расположении водотока в русле, который прижимается в зависимости от этого нарастания к крутому склону, подмывая его, делая его более крутым.

В Западной Европе значительно позже пришли к выводу о реликтовом характере климатической асимметрии речных долин

(Poser, 1948; Tricart, 1950). Эти исследователи выделили два типа плейстоценовой климатической асимметрии: первый — холодный — с крутым склоном, обращенным на север и восток, второй — теплый — с крутым склоном южной и западной экспозиции [9, 14, 15].

В 1955 г. Е.А. Пресняков при изучении асимметрии речных долин в Восточной Сибири выделил две зоны – северную и южную, различающиеся направленностью развития асимметрии. Формирование асимметрии он связал с современными условиями. В обоих случаях более пологий склон тот, который более увлажнен и на котором период весенних и осенних замерзаний и оттаиваний длителен. В северной зоне более крутым будет склон северной экспозиции, так как получает минимальное количество тепла и практически не оттаивает [5, 16]. В южной зоне из-за медленного оттаивания на склоне северной экспозиции наблюдаются более активные склоновые процессы, отжимающие русло в противоположную сторону. Здесь же

в меридиональных долинах пологим будет склон восточной экспозиции, склон утреннего освещения, так как большая часть тепла поглощается на испарение ночной влаги и на прогревание почвы и влаги [17, 18].

По данным П.Ф. Грависа (1969) на территории Восточной Сибири распространение асимметричных долин, как северного так и южного типа, зависит от условий развития склоновых процессов. В случае повсеместного сильного увлажнения сезонно талых пород солифлюкция происходит интенсивнее на глубине оттаивающих склонов южной и западной экспозиции; они выполаживаются и развивается асимметрия северного типа. При асимметрии южного типа, в условиях недостаточного увлажнения, солифлюкция развита на склонах северной и восточной экспозиции.

А.П. Дедков (2008) считает, что реликтовая перигляциальная асимметрия склонов характерная для Поволжья — это также результат неравномерного развития на неодинаково прогреваемых склонах процессов солифлюкции. На затененных склонах благоприятные условия для развития солифлюкции, а на хорошо прогреваемых склонах развивается эрозия.

На основе количественного анализа причин и степени выраженности асимметрии склонов речных долин для территории дальнего Востока А.М. Коротким и Г.П. Скрыльником (1979) была вскрыта закономерность изменения асимметрии в меридиональном направлении. Ими выделены две модификации асимметрии, как в северном, так и в южном типах. Во внутриконтинентальных районах склоны западной экспозиции положе склонов восточной экспозиции. В прибрежных районах склоны восточной экспозиции положе склонов западной. По данным А.М. Короткого и Г.П. Скрыльника граница между двумя этими модификациями проходит на севере по хребту Пэкульной, затем по Пенженскому хребту и в Приморье по хребту Сихотэ-Алинь [19].

Анализ опубликованных материалов по Северной Америке позволяет сделать вывод, что и там наблюдаются как северный, так и южный типы асимметрии склонов речных долин. По данным Френча (1972) на островах Канадского архипелага крутыми являются склоны северной и западной экспозиции, а на северо-западе Аляски — 50% крутых склонов обращены на север и только 12,5% на юг. Южный тип описан в бассейне реки Маккензи, где крутыми являются склоны, обращенные на юг [20].

Детальное количественное изучение степени выраженности асимметрии на востоке Русской равнины показывают закономерные ее изменения. Максимальная ее резкость наблюдается в полосе 54°-58° с.ш. На север и на юг от этой зоны резкость уменьшается в 2–3 раза. До  $60^{\circ}$  с.ш. южный тип асимметрии отчетливо преобладает. В более северных районах (бассейн Сысолы, Лузы, верхнее и среднее течение Вычегды) возрастает доля симметричных долин с крутым склоном, обращенным на север. Доля последних составляет 40-60%. Южный тип асимметрии характерен для Среднерусской и Волыно-Подольской возвышенности. В бассейне реки Москвы уже преобладает северный тип асимметрии [21]. Таким образом, зональность асимметрии характерна не только для крупных, как было отмечено еще С.С. Воскресенским (1947), но и для средних и даже малых рек. Эта зональность является отражением зональности склоновых процессов, как современных, так и плейстоценовых.

Анализ строения речных долин в Восточной Сибири, на Дальнем Востоке (Короткий, Скрыльник, 1979) позволяет высказать предположение, что и в этих регионах асимметрия является реликтовой [22].

На этих склонах имеются толщи позднее, а местами и среднеплейстоценовых делювиальных и солифлюкционных образований.

Глобальный анализ климатической асимметрии позволяет выделить два её типа (северный и южный или холодный и теплый), а внутри них два варианта. Типы обусловлены приходом солнечной радиации и характерны для широтно-ориентированных долин. Варианты выделяются по экспозиции крутого склона в меридиональных долинах. Их существование обусловлено уже не радиацией, а направлением приноса осадков. Хорошо увлажненные склоны развиваются быстрее и становятся пологими [23, 24]. Для всего Северного полушария выделяются два источника влаги – Атлантический и Тихий океаны. Это позволяет уточнить выделенные А.М. Коротким и Г.П. Скрыльником (1979) модификации асимметрии меридиональных долин. Их континентальная модификация, по сути, также является океанической, но обусловленной воздушными массами с Атлантического океана. Другая модификация, названная ими океанической, отражает климатическое воздействие Тихого океана. Поэтому данные модификации асимметрии меридиональных долин более верно будет называть атлантической и тихоокеанской. Аналогичные модификации наблюдаются и в Северной Америке.

Таблица 3 Экспозиция крутых и пологих склонов в разных типах и вариантах климатической асимметрии

Тип асимметрии	Наклон склона	Варианты					
		Атлантический	Тихоокеанский				
Северный	крутые пологие	C, CB, B, B, IO3, 3	C, C3, 3 Ю, ЮВ, В				
Южный	крутые пологие	Ю, Ю3, 3 С, СВ, В	Ю, ЮВ, В С, СЗ, 3				

Господство в Евразии западного переноса воздушных масс обусловливает территориальное преобладание атлантического варианта. Граница между атлантическим и тихоокеанским вариантами на востоке Евразии довольно точно установлена А.М. Коротким и Г.П. Скрыльником (1979) [20, 25].

Анализ опубликованных материалов по Северной Америке позволяет сделать вывод, что там тоже наблюдаются как северный и южный типы, так и атлантическая и тихоокеанская модификации асимметрии склонов речных долин [26]. Там преобладает атлантический вариант, а тихоокеанский характерен для узкой полосы, ограниченной с востока горами.

В общем виде существующие типы и варианты климатической асимметрии склонов речных долин можно представить в виде табл. 3.

Таким образом, количественное изучение причин формирования асимметрии речных долин показывает, что климатическая имеет глобальное распространение, как и обусловленная проявлением закона Бэра – Бабине. Для широтно-ориентированных долин основной причиной возникновения асимметрии является инсоляция. Для меридиональных же долин, кроме инсоляции, ведущее значение приобретает характер увлажнения склонового материала. Отсюда следует, что этот тип асимметрии более правильно называть не инсоляционным, как это часто встречается, а климатическим. Характерными признаками асимметрии климатического типа являются:

- 1) четкая экспозиционная приуроченность крутого склона;
  - 2) малые расходы рек;
  - 3) молодость долин;
- 4) различная мощность чехла склоновых отложений.
- В зависимости от экспозиции крутого склона широтно-ориентированных долин выделяются северный и южный типы асимметрии. В зависимости от экспозиции крутого склона меридиональных долин

в южном и северном типах существуют еще варианты: атлантический и тихоокеанский.

#### Список литературы

- 1. Щукин И.С. Общая геоморфология / И.С. Щукин. М.: Изд-во МГУ, 1960. Т. 1. 615 с.
- 2. Рычагов Г.И. Геоморфология / Г.И. Рычагов. М.: Издательство Юрайт, 2018. 395 с.
- 3. Воскресенский С.С. Асимметрия склонов речных долин на территории Европейской части СССР. В кн. Вопросы географии. 1947. С. 107–114.
- 4. Махинов А.Н. Геоморфолог С.С. Воскресенский исследователь Сибири и Дального Востока / А.Н. Махинов, В.М. Плюснин, В.А. Снытко // География и природные ресурсы. 2013. № 4. С. 173–176.
- 5. Дедков А.П. Избранные труды / А.П. Дедков. Казань: Изд-во Казанского университета, 2008. 591 с.
- 6. Дедков А.П. Две системы эрозии в речных бассейнах равнин Земли и их взаимная трансформация (часть 1) / А.П. Дедков, А.В. Гусаров, В.В. Мозжерин // Геоморфология. 2008. N2 4. С. 3–16.
- 7. Валиуллина Г.Ш. Асимметрия склонов речных долин на территории Закамья республики Татарстан / Г.Ш. Валиуллина // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. -2017. -T. 41, № 25 (274). -C. 123–131.
- 8. Русанов А.М. Почвенно-растительный покров асимметричных водоразделов степной зоны Волго-Уральского междуречья / А.М. Русанов, М.А. Сафонов // Вестник Томского государственного университета. Биология. -2017. -№ 37. -C. 161-177.
- 9. Бутаков Г.П. Плейстоценовый перигляциал на востоке Русской равнины / Г.П. Бутаков. Казань: Изд-во Казанского государственного университета, 1986. 144 с.
- 10. Куржанова А.А. Литологическая обусловленность климатической асимметрии склонов речных долин востока Русской равнины / А.А. Куржанова // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2012. № 6–3. С. 112–116.
- 11. Куржанова А.А. Влияние длительных плановых смещений русел рек востока Русской равнины на асимметрию склонов речных долин / А.А. Куржанова // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2; URL: http://www.science-education.ru/102-5720 012013 (дата обращения: 21.03.2018).
- 12. Канатьева Н.П. Особенности строения и формирования речных долин правобережья Нижегородской области (по данным геоморфологического профилирования) / Н.П. Канатьева, А.П. Мельникова // Новый взгляд. Международный научный вестник. 2015. № 9. С. 35–44.
- 13. Мальцев К.А. Морфологическая классификация малых водосборов в речных бассейнах освоенных равнин / К.А. Мальцев, А.Г. Шарифуллин // Геоморфология. 2017. № 3. С. 76—87.
- 14. Иванов М.А. Геоморфологический анализ бассейновых геосистем Приволжского Федерального округа по данным SRTM и Aster GDEM / М.А. Иванов, О.П. Ермола-

- ев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14, № 2. С. 98–109.
- 15. Михно В.Б. Симметрия как фактор структурной организации, динамики и устойчивости ландшафтов / В.Б. Михно // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2014. № 4. С. 5–11.
- 16. Боков В.А. Климатическая диссимметрия склоновых локальных ландшафтных комплексов Горного Крыма / В.А. Боков, Р.В. Горбунов // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: География. 2011. Т. 24 (63), № 1. С. 3–14.
- 17. Гусаров А.В. Строение долины реки Шура-Озень на участке эолово-аккумулятивного комплекса «Сарыкум» / А.В. Гусаров, А.Ф. Гилязов // Труды государственного природного заповедника Дагестанский. 2015. № 11 (11). С. 6–23
- 18. Ермолаев О.П. Оценка антропогенного воздействия на бассейновые геосистемы в регионе интенсивной нефтедобычи / О.П. Ермолаев, Б.М. Усманов, Н.А. Чижикова // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2014. Т. 156, кн. 4. С. 70–90.
- 19. Короткий А.М. Перестройки речной сети в Приморье: причины, механизмы и влияние на геоморфологические процессы / А.М. Короткий // Геоморфология. 2010. № 2. С. 78—91.
- 20. Короткий А.М., Скрыльник Г.П. Анизотропность геоморфологических процессов асимметрии разнопорядковых форм рельефа (на примере Дальнего Востока). В кн. Исследования глобальных факторов климатоморфогенеза Дальнего Востока. Владивосток, 1979. С. 118–142.
- 21. Куржанова А.А. Асимметрия склонов речных долин и литологические условия востока Русской равнины / А.А. Куржанова // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3. URL: http://www.science-education.ru/103-6174 012013 (дата обращения: 21.03.2018).
- 22. Макарова Т.Р. Особенности климатической асимметрии в бассейнах малых водотоков на Курильских островах / Т.Р. Макарова // Фундаментальные исследования. -2014. -№ 8-6. -C. 1388-1392.
- 23. Yermolaev O.P., Usmanov B.M., Muharamova S.S. The basin approach and mapping to the anthropogenic impact assessment on the east of the russian plain // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol.10, Is.20. P. 41178–41184.
- 24. Ivanov M.A. Integrated approach to environmental impact assessment on geosystems / M.A. Ivanov, O.P. Yermolaev, B.M. Usmanov // International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. Vol. 8, Is.4. P. 24153–24160.
- 25. Safina G. Anomalous Manifestation of Erosion and Suspended Sediment Yield on the East of Russian Plain / GuzelSafina // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. July August 2015 RJPBCS 6(4). P. 2103–2015.
- 26. Kourjanova A.A., Petrova E.V. The main relief-forming factors of asymmetry of river valleys within the central part of East European Plain / A.A. Kourjanova, E.V. Petrova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 107. http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/107/1/012013 (дата обращения: 21.03.2018). DOI: 10.1088/1755-1315/107/1/012013.

#### References

- 1. Shchukin I.S. Obshchaia geomorfologiia [Obshchaya geomorfologiya]. Izd-vo MGU, Izd-vo MGU, 1960. Vol. 1, 615 p.
- 2. Rychagov G. I. Geomorfologiia [Geomorphology]. Ser. 64 Avtorskii uchebnik (4-e izd.). Publisher Yurayt, Izdatel'stvo Iurait, 2018. 395 p.
- 3. Voskresenskii S.S. Asimmetriia sklonov rechnykh dolin na territorii Evropeiskoi chasti SSSR. [The asymmetry of the slopes of river valleys in the European part of the USSR]. Voprosy geografii. [In the book. Questions of geography]. Moscow, Moskva, 1947, pp. 107–114.

- 4. Makhinov A.N, Pliusnin V.M., Snytko V.A. Geomorphologist SS Voskresensky researcher of Siberia And the Far East . Geomorfolog S. S. Voskresenskii issledovatel' Sibiri i Dal'nogo Vostoka. Geografiia i prirodnye resursy East Geography and natural resources. 2013. no. 4, pp. 173–176.
- 5. Dedkov A.P. Izbrannye Trudy [Selected Proceedings]. Kazan, Izdatel'stvo Kazanskogo universiteta, 208, 591 p.
- 6. Dedkov A.P., Gusarov A.V., Moezherin V.V. Two erosion systems in the river basins of the plains of the Earth and their mutual transformation [Dve sistemy erozii v rechnykh basseinakh ravnin Zemli i ikh vzaimnaia transformatsiia]. Geomorfologiia Geomorphology. 2008. Vol. 1, no. 4, pp. 3–16.
- 7. Valiullina G.Sh. Asymmetry of the slopes of river valleys in the territory of the Transcaucasian Republic of Tatarstan [Asimmetriia sklonov rechnykh dolin na territorii Zakam'ia respubliki Tatarstan ]. Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriia: Estestvennye nauki. Scientific bulletins of the Belgorod State University. Series: Natural Sciences, 2017. no. 25, pp. 123–131.
- 8. Rusanov A.M., Safonov M.A. Land cover asymmetric watersheds steppe zone Volga and Ural [Pochvenno-rastitel'nyi pokrov asimmetrichnykh vodorazdelov stepnoi zony Volgo-Ural'skogo mezhdurech'ia]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiia Bulletin of Tomsk State University. Biology, 2017. no. 37, pp. 161–177.
- 9. Butakov G.P. Pleistotsenovyi perigliatsial na vostoke Russkoi ravniny [ Publishing house of Kazan State University]. Kazan, Izdatel'stvo Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta, 1986. 144 p.
- 10. Kurzhanova A.A. Lithological conditionality of climatic asymmetry of the slopes of the river valleys of the east of the Russian Plain [Litologicheskaia obuslovlennost' klimaticheskoi asimmetrii sklonov rechnykh dolin vostoka Russkoi ravniny]. Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriia Biologiia. Nauki o Zemle Bulletin of the Udmurt University. Series Biology. Earth sciences. 2012. Vol. 3, no. 6, pp. 112–116.
- 11. Kurzhanova A.A. Influence of long-term planned shifts of riverbeds of the rivers of the east of the Russian Plain to the asymmetry of the slopes of river valleys [Vliianie dlitel'nykh planovykh smeshchenii rusel rek vostoska Russkoi ravniny na asimmetriiu sklonov rechnykh dolin]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia Modern problems of science and education, 2012. no. 2. available at: URL:http://www.science-education.ru/102-5720. (accessed 21.03.2018).
- 12. Kanat'eva N.P., Mel'nikova A.P. Features of the structure and formation of river valleys on the right bank of the Nizhny Novgorod region (according to geomorphological profiling data) [Osobennosti stroeniia i formirovaniia rechnykh dolin pravoberezh'ia Nizhegorodskoi oblasti (po dannym geomorfologicheskogo profilirovaniia)]. Novyi vzgliad. Mezhdunarodnyi nauchnyi vestnik A New Look. International scientific bulletin. 2015. no. 9, pp. 35–44.
- 13. Mal'tsev K.A., Sharifullin A.G Morphological classification of small watersheds in river basins of developed plains [Morfologicheskaia klassifikatsiia malykh vodosborov v rechnykh basseinakh osvoennykh ravnin ]. Geomorfologiia Geomorphology. 2017. no. 3, pp. 76–87.
- 14. Ivanov M.A., Ermolaev O.P. Geomorphological analysis of basin geosystems of the Volga Federal District according to SRTM and Aster GDEM [Geomorfologicheskii analiz basseinovykh geosistem Privolzhskogo Federal'nogo okruga podannym SRTM i Aster GDEM]. Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniia Zemli iz kosmosa Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2017. no. 2, pp. 98–109.
- 15. Mikhno V.B. Symmetry as a factor of structural organization, dynamics and stability of landscapes [Simmetriia kak faktor strukturnoi organizatsii, dinamiki i ustoichivosti landshaftov]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriia: Geografiia. Geoekologiia Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology. 2014. no. 4, pp. 5–11.
- 16. Bokov V.A., Gorbunov R.V. Climatic dissymmetry of slope local landscape complexes of the Mountainous

- Crimea [Klimaticheskaia dissimmetriia sklonovykh lokal'nykh landshaftnykh kompleksov Gornogo Kryma ]. Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Seriia: Geografiia Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta imeni VI. Vernadsky. Series: Geography. 2011. no. 1, pp. 3–14.
- 17. Gusarov A.V., Giliazov A.F. The structure of the Shura-Ozen valley on the site of the Eolovo-accumulative complex «Sarykum» [Stroenie doliny reki Shura-Ozen' na uchastke Eolovo-akkumuliativnogo kompleksa «Sarykum»]. Trudy gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika Dagestanskii Proceedings of the Dagestan State Nature Reserve. 2015. no. 11, pp. 2–23.
- 18. Ermolaev O.P., Usmanov B.M., Chizhikova N.A. Estimation of anthropogenic impact on basin geosystems in the region of intensive oil production [Otsenka antropogennogo vozdeistviia na basseinovye geosistemy v regione intensivnoi neftedobychi]. Uchen. zap. Kazan. un-ta. Ser. Estestv. nauki. Scientific notes of Kazan University. Series of natural sciences. 2014. Vol. 4, no. 156, pp. 70–90.
- 19. Korotkii A.M. Reorganization of the river network in Primorye: causes, mechanisms and influence on geomorphological processes [Perestroiki rechnoi seti v Primor'e: prichiny, mekhanizmy i vliianie na geomorfologicheskie protsessy]. Geomorfologiia Geomorphology. 2010. no. 2, pp. 78–91.
- 20. Korotkii A.M., Skryl'nik G.P. Anizotropnost' geomorfologicheskikh protsessov asimmetrii raznoporiadkovykh form rel'efa (na primere Dal'nego Vostoka) [Anisotropy of geomorphological processes of asymmetry of different-order forms of relief (on the example of the Far East)]. Issledovaniia global'nykh faktorov klimatomorfogeneza Dal'nego Vostoka [Studies of global factors of climatomorphogenesis in the

- Far East]. Vladivostok, Izdatel'stvo Dal'nevostochnogo gosudarstvennogo universiteta, 1979. pp. 118–142.
- 21. Kurzhanova A.A. Asymmetry of the slopes of river valleys and lithological conditions of the east of the Russian Plain [Asimmetriia sklonov rechnykh dolin i litologicheskie usloviia vostoka Russkoi ravniny]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia Modern problems of science and education. 2012. no. 3. available at: URL: http://www.science-education.ru/103-6174 (accessed 21.03.2018).
- 22. Makarova T.R. Features of climatic asymmetry in the basins of small watercourses in the Kuril Islands [Osobennosti klimaticheskoi asimmetrii v basseinakh malykh vodotokov na Kuril'skikh ostrovakh]. Fundamental'nye issledovaniia Fundamental research. 2014. Vol. 6. no. 8, pp. 1388–1392.
- 23. Yermolaev O.P., Usmanov B.M., Muharamova S.S. The basin approach and mapping to the anthropogenic impact assessment on the east of the russian plain. International Journal of Applied Engineering Research. 2015. no. 10, pp. 41178–41184.
- 24. Ivanov M.A Integrated approach to environmental impact assessment on geosystems. International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. Vol. 4. no. 8, pp. 24153–24160.
- 25. Safina G. Anomalous Manifestation of Erosion and Suspended Sediment Yield on the East of Russian Plain. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Science. 2015. Vol. 4. no. 6, pp. 2103–2015.
- 26. Kourjanova A.A., Petrova E.V. The main relief-forming factors of asymmetry of river valleys within the central part of East European Plain. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Volume107. no. 1. Available at: http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/107/1/012013. (accessed 21.03.2018). DOI: 10.1088/1755-1315/107/1/012013.