

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,791

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,380

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 электронному каталогу «Почта России» – П7816

Главный редактор

Ледванов Михаил Юрьевич, д.м.н., профессор

Зам. главного редактора

Курзанов Анатолий Николаевич, д.м.н., профессор

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.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. Берсон Г.З. (Великий Новгород); д.г.-м.н., проф. Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.т.н., профессор Галкин А.Ф. (Ухта); 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. Дресвянников А.Ф. (Казань); д.г.н., проф. Егорова А.В. (Усть-Каменогорск); д.т.н., проф. Ерофеев В.И. (Томск); д.с.-х.н., проф. Залесов С.В. (Екатеринбург); д.с.-х.н., доцент Захарченко А.В. (Томск); д.с.-х.н., проф. Зволинский В.П. (Волгоград); д.х.н., проф. Ивашкевич А.Н. (Москва); д.б.н., доцент Кавцевич 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. Костицын В.И. (Пермь); д.с.-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 Кузиков О.Н. (Тюмень); д.г.-м.н., проф. Кучеренко И.В. (Томск); д.б.н., проф. Ларионов М.В. (Саратов); 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. Мельников А.И. (Иркутск); д.т.н., проф. Мусаев В.К. (Москва); д.т.н., доцент Нехорошева А.В. (Ханты-Мансийск); д.с.-х.н., Никитин С.Н. (Ульяновск); д.с.-х.н., Оказова З.П. (Владикавказ); д.с.-х.н., проф. Партоев К. (Душанбе); д.с.-х.н., проф. Петелько А.И. (Мценск); д.т.н., проф. Петров М.Н. (Красноярск); д.т.н., проф. Пирумян Г.П. (Ереван); д.с.-х.н., проф. Проездов П.Н. (Саратов); д.г.-м.н., проф. Сакиев К.С. (Бишкек); д.б.н., Сибикеев С.Н. (Саратов); д.с.-х.н., доцент Сокольская О.Б. (Саратов); д.т.н., проф. Степанов В.В. (Санкт-Петербург); д.т.н., проф. Тарасенко А.А. (Тюмень); д.т.н. Теплухин В.К. (Октябрьский); д.э.н., проф. Титов В.А. (Москва); д.с.-х.н., проф. Титов В.Н. (Саратов); д.с.-х.н., проф. Тихановский А.Н. (Салехард); д.г.-м.н., проф. Трофименко С.В. (Нерюнгри); д.т.н., проф. Ульрих Е.В. (Кемерово); д.г.н., проф. Чодураев Т.М. (Бишкек); д.с.-х.н., проф. Шамшиев Б.Н. (Ош); д.т.н., проф. Шантарин В.Д. (Тюмень); д.т.н., проф. Шатов А.А. (Уфа); д.ф.-м.н., проф. Ширапов Д.Ш. (Улан-Удэ); д.т.н., проф. Шишелова Т.И. (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. Шугунов Л.Ж. (Нальчик); д.г.-м.н., проф. Юргенсон Г.А. (Чита); д.г.н., проф. Яковенко Н.В. (Воронеж); д.т.н., проф. Ямалетдинова К.Ш. (Челябинск)

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 бесплатный.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,791.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,380.

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

Учредитель, издательство и редакция:
ООО ИД «Академия Естествознания»

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

Адрес редакции и издателя: 440026, Пензенская область, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3

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

Подписано в печать – 30.09.2021

Дата выхода номера – 29.10.2021

Формат 60х90 1/8

Типография

ООО «Научно-издательский центр

Академия Естествознания»,

410035, Саратовская область, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Техническая редакция и верстка

Байгузова Л.М.

Корректор

Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.

Способ печати – оперативный.

Распространение по свободной цене.

Усл. п.л. 11,38

Тираж – 1000 экз.

Заказ. УСЕ/9-2021

Подписной индекс П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)**СТАТЬИ**

ПРОЦЕССЫ ПОЖАРНОГО СОЗРЕВАНИЯ ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ЛЕСАХ САРАТОВСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ	
<i>Козаченко М.А., Удалова О.Г., Ивченко О.А., Тютин А.В., Панкин К.Е.</i>	5
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОДУКТИВНОСТИ ЗЛАКОВЫХ И КАПУСТНЫХ КУЛЬТУР ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РИЗОБАКТЕРИЙ	
<i>Лебедев В.Н., Кондрат С.В., Ураев Г.А.</i>	13
ЛИСТВЕННИЧНИКИ НА ВОДНО-ЛЕДНИКОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ В СЕВЕРО-ЧУЙСКОМ ЦЕНТРЕ ОЛЕДЕНЕНИЯ (РУССКИЙ АЛТАЙ)	
<i>Тимошок Е.Е., Николаева С.А., Савчук Д.А., Райская Ю.Г., Тимошок Е.Н.</i>	20

Науки о Земле (25.00.00)**СТАТЬИ**

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СКОРОСТЬ ОТТАИВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ ПОРОД	
<i>Галкин А.Ф.</i>	26
ДИНАМИКА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ЛАНДШАФТАХ РАВНИННОГО КРЫМА	
<i>Горбунов Р.В., Горбунова Т.Ю., Табуницкий В.А., Дрыгваль А.В., Сафонова М.С.</i>	31
ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ НА АККУМУЛЯТИВНОМ МОРСКОМ БЕРЕГУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНИРОВАННОГО ПОДХОДА НА ПРИМЕРЕ КУРШСКОЙ КОСЫ	
<i>Данченков А.Р., Белов Н.С.</i>	39
ОРГАНИЗАЦИЯ ТУРИСТСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА НАЦИОНАЛЬНЫХ ЛАНДШАФТНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ГЕРМАНИИ	
<i>Коньшиев Е.В.</i>	46
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОПОРНОГО ТРАНСПОРТНОГО КАРКАСА САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ (ПРОСТРАНСТВЕННО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ АСПЕКТЫ)	
<i>Крылов П.М.</i>	52
ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЛАНДШАФТОВ БАСЕЙНА РЕКИ ИНДИГИРКИ К АНТРОПОГЕННУМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ	
<i>Николаева Н.А.</i>	59
ВКЛАД ТРАНСГРАНИЧНОГО АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ	
<i>Топчая В.Ю., Котова Е.И., Чечко В.А.</i>	65
ГРУНТОВЫЕ ТОЛЩИ Г. РОСТОВА-НА-ДОНУ	
<i>Хансиварова Н.М., Гуровская А.С.</i>	70
ПЕСЧАНИКИ НИЖНЕХЕТСКОЙ СВИТЫ: ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ	
<i>Черданцева Д.А.</i>	76
ОБЗОРЫ	
ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ БАСЕЙНА КАСПИЙСКОГО МОРЯ В ПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ГОЛОЦЕНЕ И СОВРЕМЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ (В ПРЕДЕЛАХ РОССИИ)	
<i>Волкова Т.А., Антипцева Ю.О., Мищенко А.А.</i>	82

CONTENTS

Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

ARTICLES

THE PROCESSES OF FIRE MATURATION OF FOREST COMBUSTIBLE MATERIALS IN THE FORESTS OF THE SARATOV FORESTRY OF THE SARATOV REGION	
<i>Kozachenko M.A., Udalova O.G., Ivchenko O.A., Tiutin A.V., Pankin K.E.</i>	5
THE EFFECT OF RHIZOBACTERIA ON THE FORMATION OF STRUCTURAL ELEMENTS OF PRODUCTIVITY OF SPELT AND WHITE MUSTARD	
<i>Lebedev V.N., Kondrat S.V., Uraev G.A.</i>	13
LARCH FORESTS ON FLUVIOGLACIAL DEPOSITS IN THE SEVERO-CHUISKY GLACIATION CENTER (THE RUSSIAN ALTAI MOUNTAINS)	
<i>Timoshok E.E., Nikolaeva S.A., Savchuk D.A., Rayskaya Yu.G., Timoshok E.N.</i>	20

Earth sciences (25.00.00)

ARTICLES

INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE RATE OF DEFROSTING OF DISPERSED ROCKS	
<i>Galkin A.F.</i>	26
DYNAMICS OF PRECIPITATION IN PLAIN CRIMEA LANDSCAPES	
<i>Gorbunov R.V., Gorbunova T.Y., Tabunshchik V.A., Drygval A.V., Safonova M.S.</i>	31
ASSESSMENT OF ECO-GEOMORPHOLOGICAL HAZARDS ON THE ACCUMULATIVE COAST USING THE COMBINED APPROACH ON THE EXAMPLE OF THE CURONIAN SPIT	
<i>Danchenkov A.R., Belov N.S.</i>	39
THE ORGANIZATION OF TOURIST ACTIVITIES ON THE GERMAN NATIONAL LANDSCAPE TERRITORY	
<i>Konyshov E.V.</i>	46
PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF THE SUPPORTING TRANSPORT FRAME OF THE SAKHALIN REGION (SPATIAL PLANNING ASPECTS)	
<i>Krylov P.M.</i>	52
ASSESSMENT OF THE SUSTAINABILITY OF THE INDIGIRKA BASIN LANDSCAPES	
<i>Nikolaeva N.A.</i>	59
CONTRIBUTION OF TRANSBOUNDARY ATMOSPHERIC TRANSPORT OF HEAVY METALS TO ENVIRONMENTAL POLLUTION OF THE KALININGRAD REGION	
<i>Topchaya V.Yu., Kotova E.I., Chechko V.A.</i>	65
GROUND LAYERS OF ROSTOV-ON-DON	
<i>Khansivarova N.M., Gurovskaya A.S.</i>	70
THE NIZHNEKHET SUITE SANDSTONES: GEOLOGICAL FEATURES AND SEDIMENTARY ENVIRONMENT	
<i>Cherdantseva D.A.</i>	76
REVIEWS	
HISTORY OF THE CASPIAN SEA BASIN EVOLUTION IN THE PLEISTOCENE AND HOLOCENE AND CURRENT LEVEL OSCILLATIONS (WITHIN RUSSIA)	
<i>Volkova T.A., Antiptseva Yu.O., Mishchenko A.A.</i>	82

СТАТЬИ

УДК 630.90:614.841.2(470.44)

ПРОЦЕССЫ ПОЖАРНОГО СОЗРЕВАНИЯ ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ЛЕСАХ САРАТОВСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Козаченко М.А., Удалова О.Г., Ивченко О.А., Тютин А.В., Панкин К.Е.

*ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»,
Саратов, e-mail: lesfak-saratov@mail.ru*

Основой организации работ по тушению лесных пожаров и противопожарной профилактике в лесах являются: прогнозирование лесных пожаров, оценка природной пожарной опасности в лесах, а также пожарной опасности в лесах по условиям погоды. Существующие методики их определения не всегда дают корректные результаты, что снижает эффективность противопожарных мероприятий в лесах. Актуальность исследования определяется тем, что на данный момент нет достаточных данных по процессам пожарного созревания лесных горючих материалов на территории Саратовского Правобережья. Для оценки динамики протекания процессов пожарного созревания лесных горючих материалов проводились исследования погодных показателей (температуры воздуха, относительной влажности воздуха), характеристик микроклимата (освещенности) и влажности различных видов лесных горючих материалов в лесах различного породного состава. Исследование проводилось для следующих категорий лесных горючих материалов: отмершая травяная растительность, опад листвы, опад ветвей, мертвая стволовая древесина на земле и сухостойные деревья. Подбирались участки с идентичными условиями рельефа – выровненные плакоры. Для получения данных по поставленным вопросам были изучены дубовые насаждения, сосняки, являющиеся наиболее распространенными в районе исследования и имеющие наибольшее хозяйственное значение. Исследование проводилось одновременно в момент начала пожароопасного периода 2021 г. (момент схода снежного покрова) – в первую и вторую декаду апреля. Даны характеристики процессов пожарного созревания лесных горючих материалов для определенных показателей погоды и климата, в лесах различного породного состава. Проведен сравнительный анализ полученных данных с результатами определения пожарной опасности в лесах по условиям погоды по стандартным методикам. Для выявления зависимости между темпами снижения влажности лесных горючих материалов и показателями микроклимата определялась корреляционная зависимость между этими параметрами.

Ключевые слова: лесные горючие материалы, пожарное созревание, влажность, микроклимат, пожарная опасность

THE PROCESSES OF FIRE MATURATION OF FOREST COMBUSTIBLE MATERIALS IN THE FORESTS OF THE SARATOV FORESTRY OF THE SARATOV REGION

Kozachenko M.A., Udalova O.G., Ivchenko O.A., Tiutin A.V., Pankin K.E.

Saratov State Agrarian University named N.I. Vavilov, Saratov, e-mail: lesfak-saratov@mail.ru

The basis of the organization of work on extinguishing forest fires and fire prevention in forests are: forecasting forest fires, assessment of natural fire danger in forests, as well as fire danger in forests according to weather conditions. The existing methods of their determination do not always give correct results, which reduces the effectiveness of fire-fighting measures in forests. The relevance of the study is determined by the fact that at the moment there is not enough data on the processes of fire maturation of forest combustible materials on the territory of the Saratov Right Bank. To assess the dynamics of the processes of fire maturation of forest combustible materials, studies of weather indicators (air temperature, relative humidity), microclimate characteristics (illumination) and humidity of various types of forest combustible materials in forests of various species composition were conducted. The study was conducted for the following categories of forest combustible materials: dead grass vegetation, leaf fall, branch fall, dead trunk wood on the ground and dead trees. We selected areas with identical terrain conditions – aligned plakors. To obtain data on the issues raised, oak plantations and pine forests, which are the most common in the study area and have the greatest economic significance, were studied. The study was conducted simultaneously at the beginning of the fire – hazardous period of 2021 (the moment of the snow cover) – the first and second decade of April. The characteristics of the processes of fire maturation of forest combustible materials for certain weather and climate indicators in forests of various species composition are given. A comparative analysis of the data obtained with the results of determining fire danger in forests according to weather conditions using standard methods is carried out. To identify the relationship between the rate of decrease in the humidity of forest combustible materials and the microclimate indicators, the correlation between these parameters was determined.

Keywords: forest combustible materials, fire maturation, humidity, microclimate, fire hazard

Природные пожары оказывают большое влияние на состояние лесных экосистем региона и сукцессионные процессы в них [1]. Среди многочисленных аспектов

изучения лесных пожаров одним из ведущих является вопрос выявления имеющихся закономерностей возникновения лесных пожаров (его прогнозирование). Прогнози-

рование возможности возникновения пожаров в лесу позволяет принять необходимые меры к предотвращению этого стихийного бедствия и борьбе с ним. Основой организации работ по тушению лесных пожаров и противопожарной профилактике в лесах являются: прогнозирование лесных пожаров, оценка природной пожарной опасности в лесах, а также пожарной опасности в лесах по условиям погоды. Исходными данными для прогнозирования возникновения лесного пожара служат класс пожарной опасности в лесу по условиям погоды, местоположение и площадь участков лесного фонда I–III классов пожарной опасности и/или участков разных классов пожарной опасности, где в рассматриваемое время лесные горючие материалы (ЛГМ) могут гореть при появлении источника огня [2]. Существующие методики определения пожарной опасности в лесу по условиям погоды не всегда дают корректные результаты, что снижает эффективность противопожарных мероприятий. Актуальность исследования определяется тем, что на данный момент нет достаточных данных по процессам пожарного созревания лесных горючих материалов на территории Саратовского Правобережья и взаимосвязи этого процесса с расчетными показателями пожарной опасности в лесах по условиям погоды. Результаты данного анализа позволят прогнозировать параметры лесных пожаров, время их возникновения, что будет способствовать повышению эффективности работ по их профилактике и тушению, даст возможность своевременно сосредотачивать необходимые ресурсы и более рационально распределять их.

Цель работы – исследование особенностей пожарного созревания лесных горючих материалов в различных экологических условиях Саратовского Правобережья.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- охарактеризованы процессы пожарного созревания ЛГМ для определенных показателей погоды и климата;

- проведено сравнение данных по пожарному созреванию ЛГМ с результатами определения природной пожарной опасности в лесах и пожарной опасности по условиям погоды по стандартным методикам [3].

Материалы и методы исследования

Основной базой для проведения исследования стали леса Саратовского лесничества Саратовской области. Подбирались

участки с идентичными условиями рельефа – выровненные плакоры. Для получения данных в рамках поставленной цели были изучены дубовые насаждения, сосняки, являющиеся наиболее распространенными в районе исследования и имеющие наибольшее хозяйственное значение. В данной работе изучались ЛГМ, наиболее склонные к горению: опад листвы и мелких ветвей, отмершая травяная растительность, мертвая стволовая древесина (на земле) и сухостой. Данные виды ЛГМ относятся к категории «гигроскопичные». Их влагосодержание постоянно меняется в зависимости от гидрометеорологических условий [4].

Для оценки динамики протекания процессов пожарного созревания лесных горючих материалов проводились исследования погодных показателей (температуры воздуха, относительной влажности воздуха), характеристик микроклимата (освещенности) и влажности различных видов лесных горючих материалов в лесах различного породного состава. Для измерения освещенности использовался люксметр Ю116 (В/О МАШПРИБОРИНТОРГ, СССР) – состоит из измерителя люксметра и отдельного фотоэлемента с насадками; при определении освещенности фотоэлемент и измеритель располагаются горизонтально таким образом, чтобы тень от производящего измерения не попадала на фотоэлемент. Для измерения скорости ветра использовался прибор – анемометр ручной СГМПЗ 1917 (СГМПЗ, СССР); для измерения температуры и влажности воздуха применялась портативная погодная станция RST 02403 (RST, Китай) с проводным внешним датчиком. В целях исследования использовались данные архива погоды с сайта gr5.ru [5]. Исследование проводилось одновременно в момент начала пожароопасного периода 2021 г. (момент схода снежного покрова) – в первую и вторую декады апреля. Исследование было прекращено после того, как выпали осадки [5].

Внутри пробной площади осуществляли визуальную оценку насаждения на предмет наличия сухостоя, захламленности территории стволами, сучьями, ветвями. Для оценки влажности сухостоя и мертвой древесины на земле на пробной площади производили взятие образцов сухостоя и упавших деревьев. Для определения влажности отмершей травяной растительности закладывали площадки размером 0,5x0,5 м, гра-

ницы которых отмечали при помощи рамки соответствующего размера. На каждой площадке срезали все особи растений (на уровне поверхности подстилки) и их части, попадающие в отграниченную рамкой площадь [6]. Также на площадке собирали опад ветвей и листвы (хвои). Срезанные растения, опад ветвей и листвы (хвои), образцы сухостоя и упавших деревьев взвешивали на месте забора образцов, затем высушивали в сушильном шкафу (Шкаф сушильный круглый 2В-151) до постоянного веса – разница в массе позволяет определить влажность материала (метод высушивания (термогравиметрический)) [7]. Взвешивание образцов проводили с помощью портативных электронных весов МН mini (МН, Китай) (предел взвешивания 500 г, погрешность $e \gg 1$ г).

Величина комплексного показателя пожарной опасности в лесах по условиям погоды (КППО) определялась согласно [3].

Результаты исследования и их обсуждение

Показатели погоды, микроклимата представлены в табл. 1; показатели влажности лесных горючих материалов в дубовых лесах представлены в табл. 2 и на рис. 1.

Можно отметить, что из-за отсутствия листвы температура воздуха, влажность воздуха, освещенность на открытом пространстве и под пологом дубовых древостоев отличались незначительно. Под пологом температура воздуха ниже на 1–2 °С; влажность выше на 2–3 %; освещенность ниже на 5–6 тыс. лк (т.е. составляла 82–83 % от освещенности открытого места).

Таблица 1

Показатели микроклимата в дубовых лесах

Дата	Температура воздуха (в 13 ч), t, °С		Относительная влажность воздуха, %		Скорость ветра, м/сек		Освещенность, тыс. лк		Величина КППО за 1 день	Величина КППО суммарная
	на открытом месте	под пологом	на открытом месте	под пологом	на открытом месте	под пологом	на открытом месте	под пологом		
10.04.	6	6	87	88	6	4	26	20	19,8	19,8
11.04.	12	12	77	77	4	2	28	22	45,6	65,4
12.04.	18	18	52	53	7	5	28	23	148	213,4
13.04.	20	20	38	38	7	5	27	22	200	413,4
14.04.	20	20	43	44	7	5	27	22	186	599,4
15.04.	19	19	43	44	5	3	28	23	134,7	734,1
16.04.	20	19	30	31	2	1	29	23	232	966,1
17.04.	22	21	30	33	7	5	20	15	253,8	1219,9
18.04.	18	18	40	43	5	3	29	24	185,6	1405,5
19.04.	13	13	40	43	7	4	29	25	109,9	1515,4

Таблица 2

Показатели относительной влажности лесных горючих материалов в дубовых лесах

Дата	Относительная влажность лесных горючих материалов, %				
	Сухие стволы (сухостой)	Мертвая стволовая древесина	Опад листвы	Опад ветвей	Отмершая травяная растительность
10.04.	54 ± 2	61 ± 3	88 ± 2	64 ± 3	87 ± 2
11.04.	52 ± 2	60 ± 4	81 ± 2	61 ± 3	80 ± 3
12.04.	49 ± 2	54 ± 4	70 ± 6	55 ± 5	66 ± 5
13.04.	46 ± 2	49 ± 4	58 ± 6	46 ± 5	46 ± 5
14.04.	44 ± 2	44 ± 4	46 ± 5	35 ± 3	26 ± 3
15.04.	39 ± 2	40 ± 4	33 ± 3	27 ± 2	16 ± 3
16.04.	34 ± 2	35 ± 3	29 ± 2	23 ± 2	10 ± 3
17.04.	34 ± 2	35 ± 3	28 ± 2	23 ± 2	9 ± 2
18.04.	33 ± 2	35 ± 3	26 ± 2	23 ± 2	9 ± 2
19.04.	33 ± 1	35 ± 3	24 ± 2	22 ± 2	9 ± 2

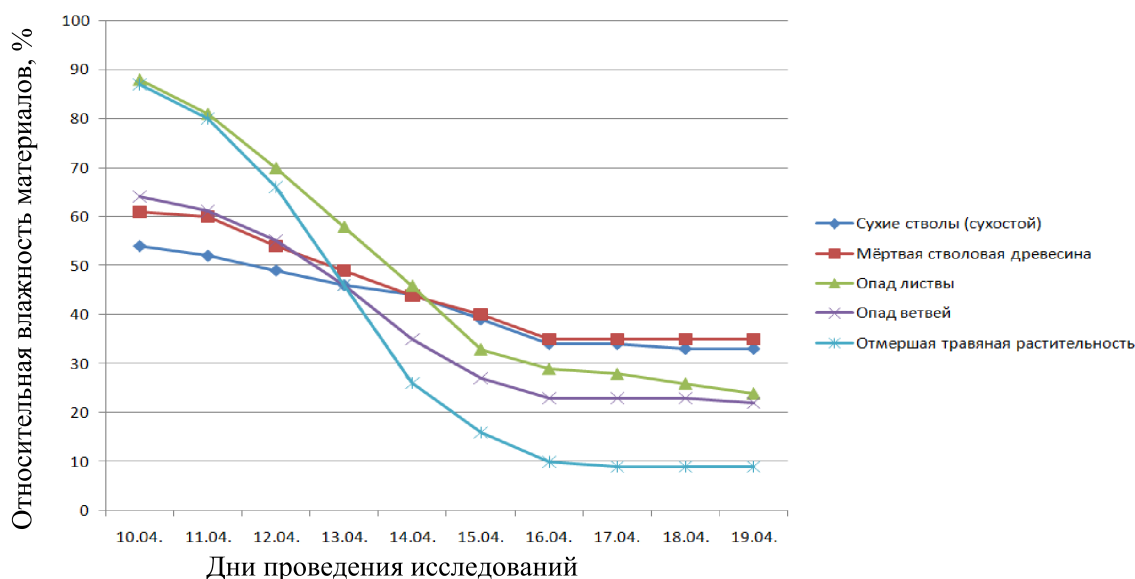


Рис. 1. Динамика изменения влажности лесных горючих материалов в дубовых лесах

Расчет величины комплексного показателя пожарной опасности по условиям погоды показал, что 1-й, 2-й и 3-й день был 1-й класс пожарной опасности (КППО) по условиям погоды; 4-й, 5-й, 6-й и 7-й день – 2-й класс пожарной опасности по условиям погоды; в следующие дни КППО соответствовал 3-му классу пожарной опасности по условиям погоды.

Из-за холодного марта и начала апреля 2021 г. снеговой покров продолжал присутствовать на объектах исследования до 6 апреля. Затем наступило резкое потепление [5], и снеговой покров сошел в течение 3–4 дней. Влажность ЛГМ в этот момент была наивысшая. В течение следующих дней происходило ее снижение с различными темпами. Наиболее интенсивно теряла влагу отмершая травяная растительность – через 5 дней влажность материалов опустилась с 87% до уровня менее 30% и далее через 8 дней стабилизировалась на уровне 9–8% – общее снижение влажности в абсолютном выражении почти 80%. Опад листьев также интенсивно терял влагу, но более равномерно. На 7-й день влажность стала менее 30%, т.е. общее снижение 60%. Опад ветвей (учитывались ветви диаметром 1–3 см) равномерно терял влажность с отметки 67% до уровня 23–22%. Мертвая стволовая древесина после схода снегового покрова имела несколько меньшую влажность в сравнении с лесной подстилкой и отмершей травяной растительностью. Темпы снижения влажности также

меньше – за 10 дней влажность снизилась на 26%. Наименьшие показатели влажности на начало пожароопасного периода отмечаются для сухостойной древесины – 54%, за 10 дней влажность снизилась на 20%. Можно отметить более равномерное снижение влажности для мертвой стволовой древесины и сухостоя в сравнении с опадом листьев и отмершим травостоем.

Для оценки динамики изменения влажности были определены величины Δ (дельта) – изменение влажности за 1 день (разница между предыдущим и последующим значением). Данные представлены в табл. 3 и на рис. 2.

Можно отметить более равномерное снижение влажности для мертвой стволовой древесины и сухостоя в сравнении с опадом листьев и отмершим травостоем.

Для выявления зависимости между темпами снижения влажности и показателями микроклимата определялась корреляционная зависимость между этими параметрами с помощью программы Excel (программный пакет *Microsoft Office*) (табл. 4).

Из табл. 4 видно, что наибольшие значения коэффициента корреляции между темпами снижения влажности и показателями микроклимата отмечаются для температуры воздуха, освещенности и относительной влажности воздуха. Коэффициенты корреляции между темпами снижения влажности и скоростью ветра характеризуют зависимость как среднюю.

Таблица 3

Изменение влажности ЛГМ за 1 день (в дубовых лесах)

Дата	Сухие стволы (сухостой)	Мёртвая стволовая древесина	Опад листьев	Опад ветвей	Отмершая травяная растительность
10.04.	-2	-1	-7	-3	-7
11.04.	-3	-6	-11	-6	-14
12.04.	-3	-5	-12	-9	-20
13.04.	-2	-5	-12	-11	-20
14.04.	-5	-4	-13	-8	-10
15.04.	-5	-5	-4	-4	-6
16.04.	0	0	-1	0	-1
17.04.	-1	0	-2	0	0
18.04.	0	0	-2	-1	0
19.04.	-	-	-	-	-

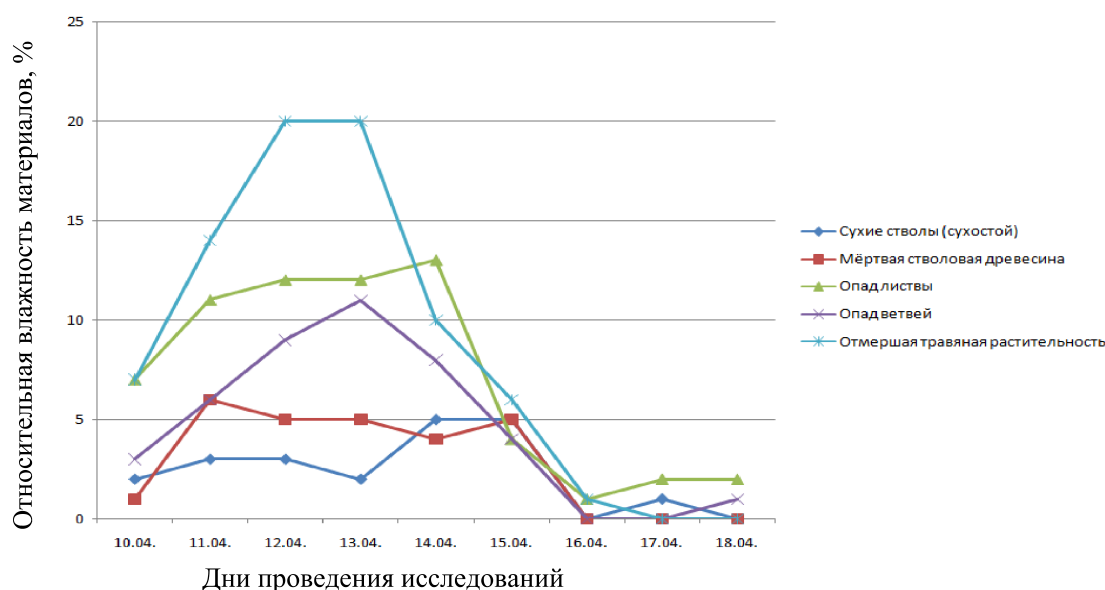


Рис. 2. Динамика изменения влажности лесных горючих материалов в дубовых лесах

Таблица 4

Коэффициент корреляции между показателями микроклимата и влажностью ЛГМ

Влажность лесных горючих материалов	Температура воздуха (в 13 ч), t, °C	Относительная влажность воздуха, %	Скорость ветра, м/сек	Освещённость, тыс. лк	Величина КППО
Сухие стволы (сухостой)	0,52	-0,46	-0,12	0,53	-0,36
Мертвая стволовая древесина	0,63	-0,50	-0,27	0,83	-0,42
Опад листьев	0,32	-0,22	0,49	0,10	-0,45
Опад ветвей	0,68	-0,65	0,62	0,42	-0,28
Отмершая травяная растительность	0,37	-0,31	0,41	0,35	-0,38

Показатели погоды, микроклимата и влажности лесных горючих материалов в сосновых лесах представлены в табл. 5 и на рис. 3.

Можно отметить, что из-за наличия охвоенных крон температура воздуха, влажность воздуха, освещённость на от-

крытом пространстве и под пологом сосновых древостоев различались значительно. Под пологом температура воздуха ниже на 2–3 °C; влажность выше на 4–8 %; освещённость ниже на 23–25 тыс. лк (т.е. составляла 12–18 % от освещённости открытого места).

Таблица 5

Показатели микроклимата в сосновых лесах

Дата	Температура воздуха (в 13 ч), t, °C		Относительная влажность воздуха, %		Скорость ветра, м/сек		Освещенность, тыс. лк		Величина КППО за 1 день	Величина КППО суммарная
	на открытом месте	под пологом	на открытом месте	под пологом	на открытом месте	под пологом	на открытом месте	под пологом		
10.04.	6	5	87	88	6	1	26	3	19,8	19,8
11.04.	12	11	77	78	4	0	28	3	45,6	65,4
12.04.	18	16	52	55	7	2	28	4	148	213,4
13.04.	20	18	38	45	7	5	27	5	200	413,4
14.04.	20	19	43	45	7	2	27	4	186	599,4
15.04.	19	19	43	48	5	1	28	4	134,7	734,1
16.04.	20	19	30	38	2	0	29	5	232	966,1
17.04.	22	21	30	38	7	1	20	2	253,8	1219,9
18.04.	18	18	40	46	5	1	29	5	185,6	1405,5
19.04.	13	13	40	48	7	1	29	5	109,9	1515,4

Таблица 6

Показатели относительной влажности ЛГМ в сосновых лесах

Дата	Относительная влажность лесных горючих материалов, %				
	Сухие стволы (сухостой)	Мертвая стволовая древесина	Опад хвои	Опад ветвей	Отмершая травяная растительность
10.04.	50 ± 2	64 ± 4	86 ± 2	63 ± 3	86 ± 2
11.04.	50 ± 2	63 ± 4	84 ± 2	61 ± 3	85 ± 3
12.04.	48 ± 3	61 ± 4	80 ± 3	58 ± 4	80 ± 3
13.04.	46 ± 3	58 ± 5	73 ± 3	52 ± 5	74 ± 5
14.04.	44 ± 3	55 ± 5	64 ± 5	46 ± 4	67 ± 5
15.04.	42 ± 3	52 ± 5	53 ± 5	40 ± 4	61 ± 4
16.04.	41 ± 4	49 ± 5	46 ± 5	35 ± 2	55 ± 4
17.04.	40 ± 3	45 ± 5	38 ± 3	31 ± 2	49 ± 4
18.04.	40 ± 3	43 ± 4	37 ± 4	30 ± 3	45 ± 4
19.04.	39 ± 4	41 ± 4	36 ± 4	30 ± 2	41 ± 4

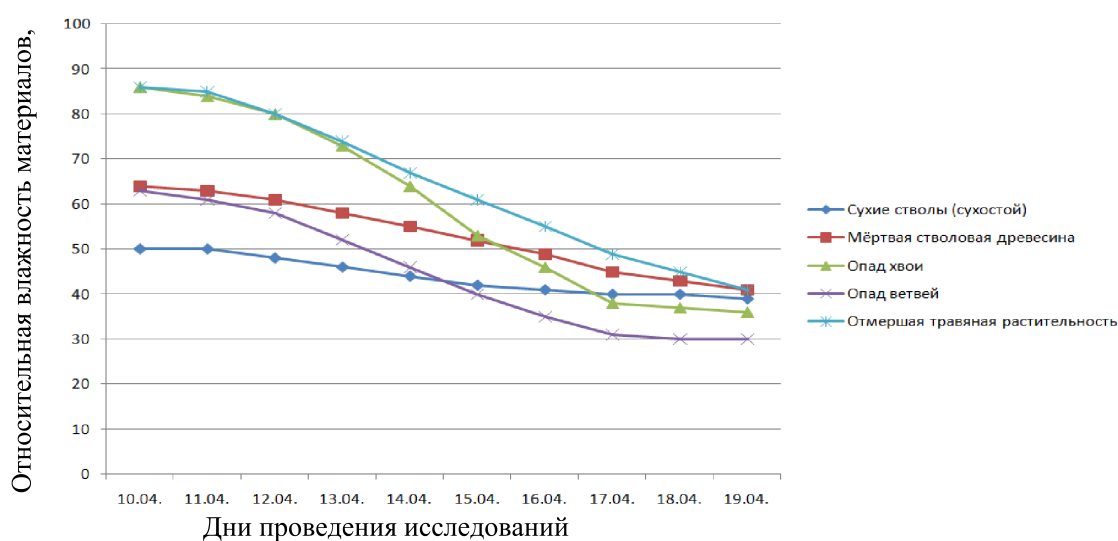


Рис. 3. Динамика изменения влажности ЛГМ в сосновых лесах

Резкого падения влажности ЛГМ в сосновых лесах не наблюдается. Наиболее интенсивно в этих условиях теряла влагу отмершая травяная растительность – через 10 дней влажность материалов опустилась с 86% до уровня 41% – общее снижение влажности в абсолютном выражении более 40%. Самую низкую влажность через 10 дней имел опад тонких ветвей – 30%. Сравнительно интенсивно терял влагу опад листвы – с 85% до 36%. Мертвая стволовая древесина имела после схода снегового покрова несколько меньшую влажность в сравнении с опадом хвои и отмершей травяной растительностью. Темпы снижения влажности также меньше – за 10 дней влажность снизилась на 20%. Наименьшие показатели влажности на начало пожароо-

пасного периода отмечаются для сухостойной древесины – 50%, за 10 дней влажность снизилась на 10%.

Также можно отметить более равномерное снижение влажности ЛГМ в сосновых лесах по сравнению с дубовыми, что мы связываем с отсутствием облиствления на кронах в дубняках на начальном этапе пожароопасного периода. В сосновых лесах ощутимо холоднее, больше влажность и меньше освещенность.

Для оценки динамики изменения влажности лесных горючих материалов в сосновых лесах были определены величины Δ (дельта) – изменение влажности за 1 день (разница между предыдущим и последующим значением). Данные представлены в табл. 7 и на рис. 4.

Таблица 7

Изменение влажности ЛГМ за 1 день (в сосновых лесах)

Дата	Сухие стволы (сухостой)	Мертвая стволовая древесина	Опад хвои	Опад ветвей	Отмершая травяная растительность
10.04.	0	-1	-2	-2	-1
11.04.	-2	-2	-4	-3	-5
12.04.	-2	-3	-7	-6	-6
13.04.	-2	-3	-9	-6	-7
14.04.	-2	-3	-11	-6	-6
15.04.	-1	-3	-7	-5	-6
16.04.	-1	-4	-8	-4	-6
17.04.	0	-2	-1	-1	-4
18.04.	-1	-2	-1	0	-4
19.04.	-	-	-	-	-

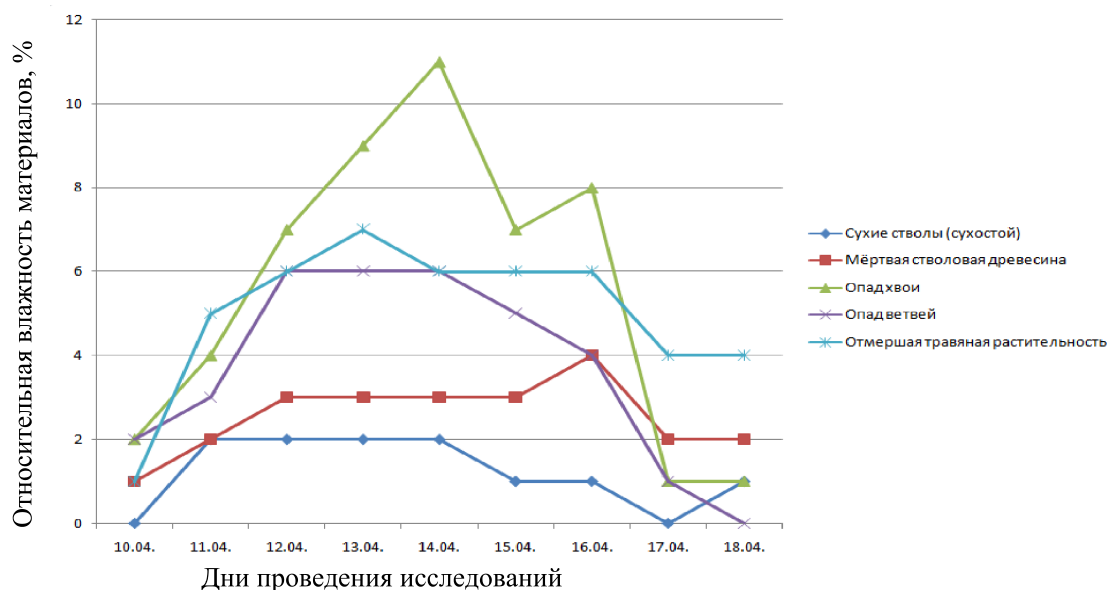


Рис. 4. Динамика изменения влажности ЛГМ в сосновых лесах

Таблица 8

Коэффициент корреляции между показателями микроклимата
и влажностью лесных горючих материалов

Влажность лесных горючих материалов	Температура воздуха (в 13 часов), t, °C	Относительная влажность воздуха, %	Скорость ветра, м/сек	Освещен- ность, тыс. лк	Величина КП
Сухие стволы (сухостой)	0,16	-0,08	0,07	0,46	-0,11
Мёртвая стволовая древесина	0,67	-0,69	-0,22	0,61	0,09
Опад хвои	0,33	-0,34	0,11	0,50	0,18
Опад ветвей	0,19	-0,17	0,25	0,35	0,02
Отмершая травяная раститель- ность	0,68	-0,63	0,00	0,53	0,07

Можно отметить более равномерное снижение влажности для мертвой стволовой древесины и сухостоя в сравнении с опадом хвои и отмершим травостоем.

Для выявления зависимости между темпами снижения влажности и показателями микроклимата определялась корреляционная зависимость между этими параметрами с помощью программы Excel (пакет программ *Microsoft Office*) (табл. 8).

Из табл. 8 видно, что наибольшие значения коэффициента корреляции между темпами снижения влажности и показателями микроклимата отмечаются для температуры воздуха, относительной влажности воздуха и освещенности. Показатели зависимости между темпами снижения влажности и скоростью ветра низкие.

Выводы

1. Из-за отсутствия листвы в начале пожароопасного периода температура воздуха, влажность воздуха, освещенность на открытом пространстве и под пологом лиственных древостоев отличались незначительно. При этом в хвойных лесах из-за сомкнутости полога температура воздуха, влажность воздуха, освещенность на открытом пространстве и под пологом сосновых древостоев отличались значительно. Эти различия в показателях микроклимата сильно влияют на процессы пожарного созревания лесных горючих материалов.

2. На начальном этапе пожароопасного периода лиственные насаждения представляют большую опасность с точки зрения возможности возникновения пожаров, так как отсутствие облиствления приводит к большей инсоляции, проветриванию и, как следствие, к более интенсивному высыханию горючих материалов.

3. В некоторых условиях горючие материалы становятся восприимчивы к слабым источникам возгораний уже через несколь-

ко дней после начала пожароопасного периода, хотя значения комплексного показателя пожарной опасности по условиям погоды в этот момент относительно невелики.

Список литературы / References

1. Козаченко М.А., Кицаева Н.С. Состояние лесовосстановления после пожаров в древостоях различного породного состава на территории Саратовской области // Аграрный научный журнал. 2017. № 6. С. 20–25.

Kozachenko M.A., Kitaeva N.S. The state of reforestation after fires in stands of various species composition on the territory of the Saratov region // Agrarnyy nauchnyy zhurnal. 2017. № 6. P. 20–25 (in Russian).

2. ГОСТ Р 22.1.09-99 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200025900> (дата обращения: 29.08.2021).

3. Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 5 июля 2011 г. N 287 «Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12089021/> (дата обращения: 29.08.2021).

Order of the Federal Forestry Agency of July 5, 2011 N 287 «On approval of the classification of natural fire danger of forests and the classification of fire danger in forests depending on weather conditions» [Electronic resource]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12089021/> (date of the application: 29.07.2021) (in Russian).

4. Гусев В.Г., Лопухова Е.Л., Дубовый В.К. Классификация и общие свойства лесных горючих материалов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2012. № 1 (325). С. 134–145.

Gusev V.G., Lopukhova E.L., Dubovy V.K. Classification and general properties of forest combustible materials // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal. 2012. № 1 (325). P. 134–145 (in Russian).

5. Расписание погоды. Архив погоды. [Электронный ресурс]. URL: <https://rp5.ru/> (дата обращения: 29.08.2021).

Weather schedule. Weather archive. [Electronic resource]. URL: <https://rp5.ru/> (date of the application: 29.08.2021) (in Russian).

6. Андреева Е.Н., Баккал И.Ю., Горшков В.В., Лянгузова И.В., Мазная Е.А., Нешатаев В.Ю., Нешатаева В.Ю., Ставрова Н.И., Ярмишко В.Т., Ярмишко М.А. Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.

Andreeva E.N., Bakka I.Y., Gorshkov V.V., Lyanguzova I.V., Maznaya E.A., Neshataev V.Yu., Neshataeva V.Yu., Stavrova N.I., Yarmishko V.T., Yarmishko M.A. Methods of studying forest communities. St. Petersburg: NIImimii St. Petersburg State University, 2002. 240 p. (in Russian).

7. Берлинер М.А. Измерения влажности. М.: Издательство «Энергия», 1973. 400 с.

Berliner M.A. Humidity measurements. M.: Publishing house «Energia», 1973. 400 p. (in Russian).

УДК 632.112:582.683.2

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОДУКТИВНОСТИ ЗЛАКОВЫХ И КАПУСТНЫХ КУЛЬТУР ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РИЗОБАКТЕРИЙ

¹Лебедев В.Н., ¹Кондрат С.В., ²Ураев Г.А.

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет
им. А.И. Герцена», Санкт-Петербург, e-mail: antares-80@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I», Санкт-Петербург, e-mail: uraev.ga@yandex.ru

В статье обсуждаются результаты проведенных вегетационных опытов по предпосевной инокуляции семян полбы (*Triticum dicoccum* subsp. *asiaticum* Vavilov) сорта (к-33226) и горчицы белой (*Sinapis alba* L.) сорта Рапсодия (к-4278) ассоциативными ризобактериальными препаратами (Агрофил, Мизорин, Флавобактерин, Псевдомонасом). В работе отмечается, что у полбы и горчицы повышается площадь листовой поверхности, число боковых побегов, число плодов (колосков и стручков), число семян и их масса. Кроме того, выявлено, что боковые побеги у обеих культур вносят вклад в формирование структурных элементов продуктивности. Особенно интенсивно это происходит у полбы. Это может быть связано с тем, что у злаков боковые побеги кушения создают габитус растения и являются фактором регулирования густоты стеблестоя, обеспечивающего продуктивное свойство культуры. Наиболее эффективными бактериальными препаратами для полбы являются Мизорин (*Arthrobacter mysorens*, штамм 7) и Агрофил (*Agrobacterium radiobacter*, штамм 10), а для горчицы белой – Мизорин и Флавобактерин (*Flavobacterium sp.*, штамм 30). Выявленная отзывчивость исследованных сортов растений на данные ассоциативные ризобактериальные штаммы наблюдалась по всем изученным нами параметрам продуктивности растений. Проведенная оценка изменения доходов аграрного предприятия от ризобактериальных штаммов на формирование продуктивности зерен полбы и семян горчицы белой. Применение ризобактериальных штаммов позволяет повысить эффект в интервалах 106–114% от контроля при инокуляции семян полбы и 140–180% от контроля при инокуляции семян горчицы белой. Наиболее значимый экономический эффект отмечен при инокуляции семян полбы Агрофилом (114%) и горчицы белой Мизорином (180%).

Ключевые слова: инокуляция, продуктивность, минеральное питание, структурные элементы продуктивности, ассоциативные ризобактерии, боковые побеги, экономический эффект

THE EFFECT OF RHIZOBACTERIA ON THE FORMATION OF STRUCTURAL ELEMENTS OF PRODUCTIVITY OF SPELT AND WHITE MUSTARD

¹Lebedev V.N., ¹Kondrat S.V., ²Uraev G.A.

¹Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, e-mail: antares-80@yandex.ru;

²Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Sankt-Petersburg, e-mail: uraev.ga@yandex.ru

The article discusses the results of pots experiments on pre-inoculation of spelt seeds (*Triticum dicoccum* subsp. *asiaticum* Vavilov) var. (k-33226) and white mustard (*Sinapis alba* L.) of the Rapsodiya / Rhapsody var. (k-4278) with associated rhizobacterial preparations (Agrofil, Mizorin, Flavobacterin, Pseudomonas). The paper notes that spelt and mustard increase the leaf surface area of the leaves, the number of lateral shoots, the number of spikelets and pods, the number of seeds and their weight. In addition, it was found that the lateral shoots of both crops contribute to the formation of structural elements of productivity. This is especially intense in spelt than in mustard. This may be due to the fact that in cereals, the lateral shoots of tillering create the habitus (appearance) of the plant and are a factor in regulating the density of the stem, which provides a productive property of the crop. The most effective bacterial preparations for spelt are Mizorin (*Arthrobacter mysorens*, strain 7) and Agrophil (*Agrobacterium radiobacter*, strain 10), and in white mustard Mizorin and Flavobacterin (*Flavobacterium sp.*, strain 30). The revealed responsiveness of the studied plant varieties to these associative rhizobacterial strains was observed for all the parameters of plant productivity. The conducted assessment of the change in the income of an agricultural enterprise from rhizobacterial strains on the formation of productivity of spelt grains and white mustard seeds. The most significant economic effect was observed when inoculating spelt seeds with Agrophil (114%) and white mustard with Mizorin (180%).

Keywords: inoculation, productivity, mineral nutrition, structural elements of productivity, associative rhizobacteria, lateral shoots, economic effect

Современное аграрное производство в последние годы отличается нарастающими темпами производства и применения бактериальных препаратов на основе ассоциативных ризобактериальных штаммов [1, 2]. Во многом это определяется интенсификацией земледелия, его экологизацией

и доступностью бактериальных препаратов ввиду большого количества их производителей. Ризобактериальные штаммы способны, благодаря выделению биологически активных соединений стимулировать рост и развитие, улучшая минеральное питание растений. Однако использование ассоци-

ативных ризобактерий может повышать продуктивность сельскохозяйственных культур только при определенных условиях, поскольку отзывчивость представителей даже одного вида, но разного сорта может существенно отличаться [3]. Поэтому всегда необходим тщательный подбор штамма в основе определенного биопрепарата для создания эффективного комплекса «бактерия – растение».

Известно, что наиболее мощная донорно-акцепторная система развита у разновидностей пшеницы, у которых аттрагирующая зона представлена главным колосом, а в качестве донорных структур выступают листья разных ярусов, последовательно включающиеся в обеспечение акцептора [4, 5]. У однолетних полевых капустных растений акцепторная система представлена соцветием главного побега, а к донорным структурам относятся листья и соцветия побегов бокового ветвления [6, 7]. Поэтому согласованная работа этих систем является важным аспектом, определяющим продуктивность биомассы надземных органов и урожайность семян.

Продукционный процесс растений представляет собой интеграцию их физиологических реакций, формирующих урожай. При этом улучшение минерального питания положительно отражается на образовании элементов продуктивности (числа плодов, количества и массы семян). Изучение особенностей формирования колоса у злаков и соцветия у однолетних капустных растений необходимо для характеристики продуктивных возможностей данных культур в конкретных почвенно-климатических условиях, а также прогнозирования и моделирования урожайных данных.

В этой связи цель нашей работы заключалась в определении влияния подобранных наиболее эффективных ризобактериальных штаммов на формирование элементов продуктивности полбы и горчицы белой.

Материалы и методы исследования

Работа проводилась по стандартной методике [8] в условиях вегетационных опытов с полбяной пшеницей (*Triticum dicoccum* subsp. *asiaticum* convar. *transcaucasicum* Vavilov) образец varietes *aeruginosum* (к-33226) и горчицей белой (*Sinapis alba* L.) образец сорта Рапсодия (к-4278) на территории биостанции РГПУ им. А.И. Герцена. Данные культуры считаются малораспространенными для РФ, вопреки перспектив-

ности продукционного потенциала, которая отмечается в ряде исследований [9, 10].

Растения выращивались в вегетационном домике при естественном освещении и искусственном поливе. В пластмассовые вегетационные сосуды набивалось по 5 кг почвы. В каждый сосуд высевалось по 15 семян, после появления всходов количество проростков выравнивалось. Повторность опыта четырехкратная. Почва, используемая в эксперименте, супесчаная дерново-слабоподзолистая с реакцией среды $pH_{KCl} - 5,7$ – близкой к нейтральной, со средней степенью окультуренности. По А.Т. Кирсанову определено содержание в ней подвижных форм фосфора (155 мг/кг), калия (120 мг/кг). Для гарантированного создания ассоциативного комплекса «растение – бактерия» перед посевом в почву каждого сосуда в качестве общего минерального фона вносилось комплексное удобрение азофоска из расчета $N_{0,1}P_{0,1}K_{0,1}$ д.в. на каждый кг почвы.

Инокуляция семенного материала осуществлялась перед посевом в сосуды согласно рекомендациям [10], разработанным ранее непосредственным их изготовителем – лабораторией экологии ассоциативных и симбиотических ризобактерий ВНИИСХМ. В работе использовались: Агрофил (*Agrobacterium radiobacter*, штамм 10), Мизорин (*Arthrobacter mysorens*, штамм 7), Флавобактерин (*Flavobacterium sp.*, штамм 30) и Псевдомонас (*Pseudomonas fluorescens*, штамм ПГ-5). Отбор данных препаратов был сделан на основе ранее проведенных исследований, доказавших свое положительное влияние на отдельные физиологические процессы других сортов, изучаемых культур [1–3].

Изучение морфометрических параметров, вносящих вклад в структуру урожая, осуществлялось у полбяной пшеницы в фазу восковой спелости зерновок, а у горчицы белой – в период зрелости стручков.

Кроме того, практический интерес для нас также представляла оценка изменения дохода аграрного предприятия от процесса предпосевной инокуляции семян полбы и горчицы белой ризобактериями по сравнению с контролем [11]. Заметим, что понятия «экономический эффект» и «экономическая эффективность» связаны между собой. Они относятся к ключевым экономическим категориям и позволяют делать оценку отдачи от применяемой технологии. Экономический эффект характеризует полезный результат от реализации мероприятия или

мероприятий, оцениваемый либо в форме дополнительного дохода, либо в стоимостной оценке экономии ресурса (ресурсов) по центрам затрат аграрного предприятия.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты вегетационных опытов показали влияние ризобактериальных препаратов на ассимиляционные органы растений. Площадь листьев обеих культур возрастала в опытных вариантах, но отличалась в зависимости от использованного биопрепарата (табл. 1). Листовая поверхность полбы наиболее существенно отличалась при использовании Мизорина (167%) и Агрофила (144%), а горчицы – Мизорина (133%) и Флавобактерина (128%).

в общую урожайность составляет не менее трети, а образцы некустящихся форм пшеницы и неветвящихся сортов горчицы дают на 30% меньше урожая. При этом у горчицы белой наличие боковых побегов не позволяет растению «перескакивать» фазы развития [5]. Кроме того [9, 13], для таких растений отмечены компактность расположения стручков и снижение ярусности посева, что позволяет снизить потери урожая при уборке.

Таким образом, нельзя однозначно говорить о негативной роли боковых побегов в структуре урожая, а правильную оценку их вклада в продуктивность следует рассматривать применительно к конкретным почвенно-климатическим условиям. Урожайность колоса полбы (или стебля гор-

Таблица 1

Влияние бактериальных препаратов на площадь листьев (см²/раст.) и число боковых побегов (шт/раст.) полбы и горчицы белой

Вариант	Полба				Горчица белая			
	Площадь листьев		Число боковых побегов		Площадь листьев		Число боковых побегов	
	см ² /раст.	%	шт/раст.	%	см ² /раст.	%	шт/раст.	%
Контроль	729,2	100	11	100	64,4	100	8,5	100
Агрофил	1054,0	144	12	109	70,4	109	8,7	102
Мизорин	1221,5	167	12	109	85,5	133	10,0	118
Флавобактерин	778,1	107	13	118	82,5	128	9,0	106
Псевдомонас	757,5	104	13	118	73,4	114	8,5	100
НСР _{0,05}	40,4	—	0,5	—	4,4	—	0,3	—

Кроме того, отмечено положительное влияние процесса инокуляции семян на формирование боковых побегов. Особенно интенсивно это наблюдалось у полбяной пшеницы при обработке семян Флавобактерином и Псевдомонасом, а также у горчицы в варианте с Мизорином. Во всех случаях увеличение количества побегов кущения происходило на 18%.

Известно [12], что побеги кущения злаков и боковые побеги однолетних кормовых трав определяют важное продуктивное свойство – густоту стеблестоя. При этом в научной литературе имеются разные представления о физиологических связях между побегами и о вкладе боковых побегов в урожай. Существует точка зрения [3], что боковые побеги задерживают формирование урожая главного побега и отличаются низким продуктивным потенциалом. Другие исследования [2] подчеркивают, что вклад боковых побегов

чицы) складывается из трех количественных признаков: числа колосков (или стручков), числа зерен (или числа семян) и массы зерна (или семян). Поэтому практический интерес представлял анализ развития плодов на главном и боковых побегах.

Наиболее стабильными показателями урожайности являются количество колосков в колосе злаков и число стручков в соцветии капустных. Эти показатели в меньшей степени подвержены серьезным количественным изменениям, хотя тесно связаны с внешними условиями своего формирования [9, 14]. Дефицит света, тепла, питательных веществ и влаги приводит к нарушению прямой зависимости урожая от числа колосков или стручков.

Обработка семян полбы ассоциативными ризобактериями повышала число колосков в колосе как на главном побеге (до 13%), так и на боковых (до 63%). Наиболее существенно это отмечалось в вари-

антах с применением Мизорина (табл. 2). Этот же препарат стимулировал образование стручков у горчицы белой на главном (до 81 %) и боковых (до 82 %) побегах. Необходимо отметить, что наибольшее количество колосков и стручков формировалась на главном побеге. Наибольший вклад в процесс формирования колосков боковые побеги вносят у полбы, где их доля колеблется в пределах 36–45 %, в сравнении с горчицей (33–35 %). Это указывает на большую продуктивную ценность главного стебля (побега) по отношению к побегам второго, третьего и последующего порядков, вне зависимости от вида сельскохозяйственного растения [15].

В опытных вариантах нашего исследования показано (табл. 3) увеличение числа зерен в колосе полбы и количества семян в стручках горчицы, относительно неинкулированных вариантов (контроля). Наибольший эффект наблюдался в опытах с применением Мизорина. В этом вариан-

те озерненность колоса полбы возрастала на 7 % (главные побеги) и на 25 % (боковые побеги). При этом увеличение обсеменности стручков горчицы белой на одно растение составляло около 80 % независимо от порядка побега. Этот показатель достигался путем изменения числа стручков, а не за счет возрастания количества семян в плодах, поскольку обсеменность стручков является наиболее стабильным показателем, чем озерненность колоса [4].

Следует отметить, что участие боковых побегов в формировании общей озерненности растений полбы составляло 38–70 %, а в обсеменности горчицы – 34–38 %. Этот показатель был максимален при инокуляции семян Мизорином (полба) и Псевдомонасом (горчица). Подобное различие указывает на более функциональный вклад побегов кущения злаковой культуры при обработке семян ассоциативными штаммами ризобактерий, по сравнению с горчицей белой.

Таблица 2

Влияние бактериальных препаратов на число колосков полбы и число стручков горчицы белой, шт/раст.

Вариант	Полба				Горчица белая			
	Число колосков				Число стручков			
	Главный побег		Боковые побеги		Главный побег		Боковые побеги	
	шт/раст.	%	шт/раст.	%	шт/раст.	%	шт/раст.	%
Контроль	91	100	51	100	8,2	100	4,1	100
Агрофил	103	113	66	129	10,1	124	5,0	123
Мизорин	103	113	83	163	14,8	181	7,4	182
Флавобактерин	92	101	52	102	13,9	170	6,9	169
Псевдомонас	93	102	52	102	12,2	149	6,6	161
НСР _{0,05}	5,0	–	7,3	–	3,6	–	2,5	–

Таблица 3

Влияние бактериальных препаратов на число зерен полбы и число семян горчицы белой, шт/раст.

Вариант	Полба				Горчица белая			
	Число зерен				Число семян			
	Главный побег		Боковые побеги		Главный побег		Боковые побеги	
	шт/раст.	%	шт/раст.	%	шт/раст.	%	шт/раст.	%
Контроль	169	100	105	100	320	100	172	100
Агрофил	172	101	105	103	399	124	205	119
Мизорин	181	107	127	125	578	181	310	180
Флавобактерин	173	103	106	103	549	172	283	165
Псевдомонас	162	96	102	97	468	146	287	167
НСР _{0,05}	16,0	–	13,8	–	24,3	–	12,1	–

В исследовании выявлено положительное влияние бактериальных препаратов на урожайную массу зерен полбы и семян горчицы (табл. 4). Данные показатели зависят не только от сортовых особенностей, но и от минерального питания. Они формируются в период образования и закладки, зачаточных стручка и колоса (III и IV этапы органогенеза), а также в период завершения формирования семени (X и XI этапы органогенеза) [4, 5, 8]. В отношении полбы наиболее эффективным препаратом, который в целом увеличивал массу зерен на 14 %, оказался Агрофил. Для горчицы такими препаратами оказались Мизорин и Флавобактерин, где общая масса семян составляла 180 %

и 166 % относительно контроля. Эти же ризобактериальные штаммы способствовали более высокой продуктивности как главного, так и боковых побегов изученных нами растений.

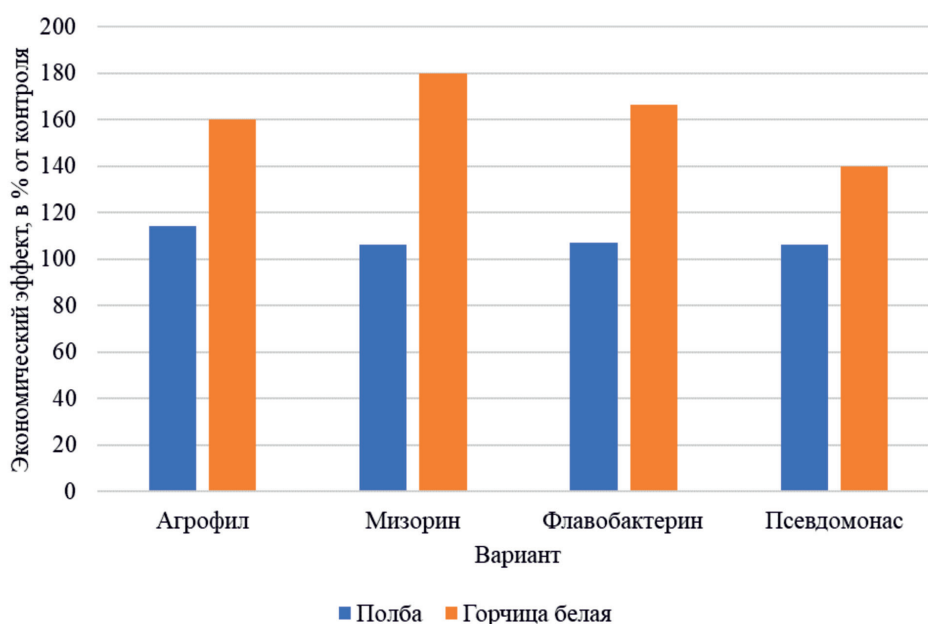
Анализ результата вклада боковых побегов в общий урожай показал, что у горчицы белой он наиболее существенен и составлял 44–48 % по сравнению с полбой – 27–34 %. При этом продуктивность боковых побегов отмечалась при использовании Флавобактерина и Мизорина.

Рассмотренные выше эффекты от процесса предпосевной инокуляции семян полбы и горчицы белой влияют и на экономический эффект аграрного предприятия (рисунк).

Таблица 4

Урожай семян при инокуляции полбы и горчицы ризобактериями, г/сосуд

Вариант	Полба				Горчица белая			
	Масса зерен				Масса семян			
	Главный побег		Боковые побеги		Главный побег		Боковые побеги	
	г/сосуд	%	г/сосуд	%	г/сосуд	%	г/сосуд	%
Контроль	7,2	100	2,7	100	1,6	100	1,4	100
Агрофил	8,1	113	3,2	119	2,7	169	2,1	150
Мизорин	7,3	101	3,2	119	2,9	181	2,5	179
Флавобактерин	7,3	101	3,3	122	2,6	163	2,4	171
Псевдомонас	7,4	103	3,1	115	2,3	144	1,9	136
НСР _{0,05}	0,2	–	0,2	–	0,2	–	0,2	–



Изменение доходов аграрного предприятия от реализации семян полбы и горчицы белой (контроль принят за 100 %)

На рисунке показана оценка изменения доходов аграрного предприятия от ризобактериальных штаммов на формирование продуктивности зерен полбы и семян горчицы белой. Применение ризобактериальных штаммов позволяет повысить эффект в интервалах 1,06–1,14 раза (по полбе) и 1,40–1,80 (по горчице белой). Наиболее значимый экономический эффект наблюдается при инокуляции семян полбы Агрофилом (1,14 раза) и горчицы белой Мизорином (1,80 раза).

Заключение

Таким образом, результаты вегетационных опытов показали эффективное влияние на продуктивные процессы полбяной пшеницы и горчицы белой. Отобранные штаммы ассоциативных ризобактерий повышали ассимиляционную поверхность листьев (полбы – на 4–67%; горчицы – на 9–33%) и стимулировали образование боковых побегов (полбы – на 9–18%; горчицы – на 2–18%) у обоих видов растений. Кроме того, было отмечено, что инокулированные варианты растений формировали большее число плодов и семян, а также положительно отличались в отношении урожая семенной массы (полба – 114%; горчица – 166–180% относительно контроля). Наиболее эффективным биопрепаратом по совокупности рассмотренных параметров, в отношении обеих культур оказался Мизорин (*Arthrobacter mysores*, штамм 7). Однако установлено, что для полбы еще одним эффективным бактериальным препаратом является Агрофил (*Agrobacterium radiobacter*, штамм 10), а для горчицы – Флавобактерин (*Flavobacterium sp.*, штамм 30).

В работе также отмечена положительная роль боковых побегов в продукционных процессах. Наиболее существенное значение урожайности таких побегов характерно для полбы (27–34% от общей урожайности) как злаковой культуры, регулирующей густоту стеблестоя, по сравнению с горчицей белой (44–48% от общей урожайности). Кроме того, установлен экономический эффект от применения бактериальных препаратов для повышения семенной продуктивности исследованных нами растений. Наиболее значимый экономический эффект отмечен при инокуляции семян полбы Агрофилом (114%) и горчицы белой Мизорином (180%).

Список литературы / References

1. Акманаев Э.Д. Инновационные технологии в агробизнесе: учеб. пособие / Под общ. ред. Ю.Н. Зубарева, С.Л.

Елисеева, Е.А. Ренева; М-во с.-х. РФ, ФГБОУ ВПО «Пермская ГСХА». Пермь: ФГБОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2012. 335 с.

Akmanayev E.D. Innovative technologies in agribusiness: textbook. stipend / pod obshch. red. Yu.N. Zubareva, S.L. Eliseeva, E.A. Reneva; M-vo s.-h. RF, FGBOU VPO Permskaya GSKHA. Perm': FGBOU VPO Permskaya GSKHA, 2012. 335 p. (in Russian).

2. Fatih C., Murat E., Mehmet S., Arzu C. The role of beneficial microorganisms in the protection of plants growing in natural landscape areas. Siirt. 2017. P. 427–442.

3. Лебедев В.Н. Реализация продуктивного потенциала растений семейства *Brassicaceae* при инокуляции семян ассоциативными ризобактериями. Глава 3 // Наука сегодня: теория, практика, инновации: многотомная коллективная монография. В 9 т. Т. 6. Ростов-на-Дону: Изд-во Международного исследовательского центра «Научное сотрудничество», 2014. С. 56–77.

Lebedev V.N. Realization of the productive potential of plants of the *Brassicaceae* family when inoculating seeds with associative rhizobacteria. Chapter 3 // Nauka segodnya: teoriya, praktika, innovacii: mnogotomnaya kolektivnaya monografiya. V 9 t. T. 6. Rostov-na-Donu: Izd-vo Mezhdunarodnogo issledovatel'skogo centra «Nauchnoe sotrudnichestvo», 2014. P. 56–77 (in Russian).

4. Степанов С.А., Сигнаевский В.Д., Касаткин М.Ю., Ивлева М.В. Формирование элементов продуктивности колоса яровой мягкой пшеницы // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2013. Т. 13. № 1. С. 65–70.

Stepanov S.A., Signaevskiy V.D., Kasatkin M.Yu., Ivleva M.V. Formation of elements of productivity of an ear of spring soft wheat // Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Himiya. Biologiya. Ekologiya. 2013. T. 13. № 1. P. 65–70 (in Russian).

5. Горюнов А.А. Формирование элементов продуктивности колоса яровой твердой пшеницы: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Саратов, 2012. 19 с.

Goryunov A.A. Formation of elements of productivity of an ear of spring durum wheat: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Saratov, 2012. 19 p. (in Russian).

6. Панасюга А.П., Саскевич П.А., Кажарский В.Р. Влияние морфорегуляторов на продуктивность горчицы белой // Вестник БГСХА. 2017. № 1. С. 33–37.

Panasyuga A.P., Saskevich P.A., Kazharskiy V.R. The influence of morphoregulators on the productivity of white mustard // Vestnik BGSKHA. 2017. № 1. P. 33–37 (in Russian).

7. Петров С.В. Агробιοлогические основы формирования урожая яровой пшеницы полбы в Предкамье Республики Татарстан: автореф. дис. ... канд. сельхоз. наук. Пенза, 2015. 19 с.

Petrov S.V. Agrobiological bases of the formation of the spring wheat spelt crop in the Kama region of the Republic of Tatarstan: avtoref. dis. ... kand. s.-h. nauk. Penza, 2015. 19 p. (in Russian).

8. Воробейков Г.А., Бредихин В.Н., Павлова Т.К., Лебедев В.Н., Кондрат С.В., Чернявская И.В., Макаров П.Н. Учебная полевая практика по физиологии растений: учебное пособие для студентов биологических специальностей / Под ред. профессора Г.А. Воробейкова. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2015. 128 с.

Vorobeykov G.A., Bredikhin V.N., Pavlova T.K., Lebedev V.N., Kondrat S.V., Chernyavskaya I.V., Makarov P.N. Educational field practice in plant physiology: a textbook for students of biological specialties / Pod red. professora G.A. Vorobeykova. SPb.: Izd-vo RGPU im. A.I. Gercena, 2015. 128 p. (in Russian).

9. Велкова Н.И., Наумкин В.П. Факторы, влияющие на урожайность горчицы белой // Вестник научных конференций. 2016. № 11–5 (15). С. 48–50.

Velkova N.I., Naumkin V.P. Factors affecting the yield of white mustard // Vestnik nauchnyh konferency. 2016. № 11–5 (15). P. 48–50 (in Russian).

10. Тихонович И.А., Завалин А.А., Благовещенская Г.Г., Кожемяков А.П. Использование биопрепаратов – дополнительный источник элементов питания растений // Плодородие. 2011. № 3 (60). С. 9–13.
- Tikhonovich I.A., Zavalin A.A., Blagoveshchenskaya G.G., Kozhemyakov A.P. The use of biological products is an additional source of plant nutrition elements // Plodorodie. 2011. № 3 (60). P. 9–13 (in Russian).
11. Лебедев В.Н., Воробейков Г.А., Ураев Г.А. Повышение продуктивности растений семейства капустных (*Brassicaceae* Burnett.) при инокуляции семян бактериальными препаратами на основе ассоциативных штаммов // Успехи современного естествознания. 2017. № 5. С. 41–45.
- Lebedev V.N., Vorobeykov G.A., Uraev G.A. Increasing the productivity of plants of the cabbage family (*Brassicaceae* Burnett.) when inoculating seeds with bacterial preparations based on associative strains // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2017. № 5. P. 41–45 (in Russian).
12. Шайхутдинов Ф.Ш., Сержанов И.М., Зиннатуллин Д.Х., Асахова В.В. Формирование стеблестоя, рост корневой системы и урожайность агроценоза полбы (*Triticum dicoccum* Schrank.) в зависимости от агротехнических приемов в условиях Республики Татарстан // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 5. С. 21–25.
- Shaykhtudinov F.Sh., Serzhanov I.M., Zinnatullin D.Kh., Asahova V.V. The formation of the stem, the growth of the root system and the yield of the agrocenosis of spelt (*Triticum dicoccum* Schrank.) depending on agrotechnical techniques in the conditions of the Republic of Tatarstan // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2019. Vol. 33. № 5. P. 21–25 (in Russian).
13. Лебедев В.Н., Ураев Г.А. Перспективность инокуляции семян горчицы белой и сарептской ассоциативными азотфиксирующими штаммами ризобактерий // Пермский аграрный вестник. 2015. № 11. С. 21–25.
- Lebedev V.N., Uraev G.A. The prospects of inoculation of white and Sarepta mustard seeds with associative nitrogen-fixing strains of rhizobacteria // Permskiy agrarnyj vestnik. 2015. № 11. P. 21–25 (in Russian).
14. Гилев С.Д., Цымбаленко И.Н., Мешкова Н.В., Филиппова Е.А., Козлова Т.А. Урожайность полбы и технологические качества зерна в зависимости от приемов возделывания // Аграрный вестник Урала. 2017. № 5 (159). С. 12–16.
- Gilev S.D., Cymbalenko I.N., Meshkova N.V., Filippova E.A., Kozlova T.A. The yield of spelt and the technological qualities of grain, depending on the methods of cultivation // Agrarnyj vestnik Urala. 2017. № 5 (159). P. 12–16 (in Russian).
15. Leonova I.N., Badaeva E.D., Orlovskaya O.A., Röder M.S., Khotyleva L.V., Salina E.A., Shumny V.K. Comparative characteristic of *Triticum aestivum*/*Triticum durum* and *Triticum aestivum*/*Triticum dicoccum* hybrid lines by genomic composition and resistance to fungal diseases under different environmental conditions. Russian Journal of Genetics. 2013. Vol. 49. № 11. P. 1112–1118.

УДК 630:582.475.2(235.222)

**ЛИСТВЕННИЧНИКИ НА ВОДНО-ЛЕДНИКОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ
В СЕВЕРО-ЧУЙСКОМ ЦЕНТРЕ ОЛЕДЕНЕНИЯ (РУССКИЙ АЛТАЙ)****Тимошок Е.Е., Николаева С.А., Савчук Д.А., Райская Ю.Г., Тимошок Е.Н.***Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (ИМКЭС СО РАН),**Томск, e-mail: timoshokee@mail.ru, sanikoll@rambler.ru, savchuk@imces.ru,**ten80@mail.ru, raiskaya.julia@mail.ru*

Авторы оценили современное состояние лиственничников на водно-ледниковых отложениях долины р. Актру (Северо-Чуйский хребет, Центральный Алтай) на примере зрелого леса на развитых и молодого леса на формирующихся юных террасах р. Актру. Наблюдение за молодыми лесами, сформировавшимися в современный период потепления (для Алтая отмечено с 1850-х гг.), даёт возможность понять, какими были подобные леса в периоды таяния крупных ледников прошлого. Возрастная структура изучалась на шести пробных площадях, расположенных на формирующихся террасах высотой около 1 м и на развитых юных террасах высотой более 2 м. Для изучения возрастной структуры использовались керны, для изучения живого напочвенного покрова использовался метод стандартных геоботанических описаний. Было установлено, что в древесном ярусе зрелых лесов присутствуют три генерации лиственницы, с возрастом 100–120, 120–150 и 190–220 лет (основная генерация), при этом в основной преобладает кедр возрастом до 110 лет. Видовой состав сосудистых растений включает 34 вида. Древесный ярус молодых лесов включают две генерации лиственницы возрастом 30–60 и 70–104 года. Эти леса отличаются более высоким разнообразием сосудистых растений (59 видов). При этом только 21 вид является общим для обоих типов лесов. В условиях водно-ледниковых отложений долины р. Актру лиственничные леса существуют исключительно на речных террасах, при этом условия на них благоприятны для роста лиственницы, однако наличие в них исключительно кедрового подроста указывает на возможность будущей замены лиственницы кедром.

Ключевые слова: флювиогляциальные отложения, лиственница, возрастная структура, сосудистые растения, Горный Алтай

**LARCH FORESTS ON FLUVIOGLACIAL DEPOSITS IN THE SEVERO-CHUISKY
GLACIATION CENTER (THE RUSSIAN ALTAI MOUNTAINS)****Timoshok E.E., Nikolaeva S.A., Savchuk D.A., Rayskaya Yu.G., Timoshok E.N.***Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian**Academy of Sciences (IMCES SB RAS), Tomsk, e-mail: timoshokee@mail.ru,**sanikoll@rambler.ru, savchuk@imces.ru, ten80@mail.ru, raiskaya.julia@mail.ru*

The authors assessed the current state of larch forests on glaciofluvial deposits of Aktru river valley (Severo-Chuisky ridge, Central Altai) on example of a more mature forest on fully-formed young terraces and young forest on forming young terraces of river Aktru. Observing young forests that formed during modern period of warming (for Altai it was noted since the 1850s), makes it possible to understand what such forests were in the past. The age structure was studied on six test plots located on forming terraces about 1 m high and on developed juvenile terraces more than 2 m high. Core samples were used to study the age structure, and the method of standard geobotanic descriptions was used to study the living ground cover. It was found that tree layer of mature forests includes three generations of larch, with age of 100–120, 120–150, 190–220 (main generation) years, while the main one is dominated by Siberian stone pine up to 110 years old. Species composition of vascular plants includes 34 species. tree storey of younger forests includes two generations of larch aged 30–60 and 70–104. These forests have higher diversity of vascular plants (59 species), while only 21 species are common to both types of forests. Aktru River larch forests exist exclusively on river terraces, and the conditions on them are favorable for the growth of larch, but the presence of exclusively cedar undergrowth in them indicates the possibility of future replacement of larch with Siberian stone pine.

Keywords: glaciofluvial deposits, larch, age structure, vascular plants, the Altai Mountains

Молодые леса, сформировавшиеся на водно-ледниковых отложениях, нанесенных водными потоками с тающих ледников, после максимального за последние 1000 лет похолодания первой половины XIX в., которое проявило себя во всех горных системах мира, в том числе в Горном Алтае [1, 2], являются важным источником информации, необходимой для понимания ландшафтных изменений в высокогорьях Алтая. Эти изменения происходят

в обширных высокогорных областях в наши дни. Комплексное изучение этих лесов необходимо также и для понимания процессов формирования молодых лесов в периоды отступления ледников. Особенности формирования лесов в таких ландшафтах в прошлые геологические эпохи невозможно описать палеоботаническими методами, поэтому изучение этих процессов приобретает особое значение в условиях современных глобальных климатических изменений.

Появление и ход развития молодых лесов в современный период может рассматриваться как модель особенностей лесообразования на обширных водно-ледниковых поверхностях, образовавшихся при таянии крупных горных ледников после наиболее значительных четвертичных оледенений Русского Алтая. Периодическое проведение подобных исследований также полезно для мониторинга влияния климатических изменений на горные леса.

В современный период водно-ледниковые ландшафты представлены только в центрах современного оледенения, включая центры оледенения Русского Алтая. Наши многолетние исследования в горно-ледниковых бассейнах Алтая [3, 4] показали, что наибольшая площадь молодых водно-ледниковых отложений отмечена в Северо-Чуйском центре оледенения, в горно-ледниковом бассейне Актру. Эти отложения протянулись от конечно-моренных валов ледников Малый Актру и Большой Актру середины XIX в. до конечной морены ледника Актру аккемской стадии, занимавшего около 4000 лет назад всю верхнюю часть долины р. Актру [5, 6].

Цель работы – анализ современного состояния лиственничников на молодых водно-ледниковых отложениях р. Актру в орочиматических условиях Северо-Чуйского центра оледенения в период современного потепления климата.

Материалы и методы исследования

Материалы для исследования были собраны в лиственничниках, сформировавшихся на водно-ледниковых отложениях на дне долины р. Актру (горно-ледниковый бассейн Актру, горный узел Биш-Иирду, северный макросклон Северо-Чуйского хребта, Русский Алтай). Здесь преобладает альпийский тип рельефа с острыми расчлененными гребнями, глубокими трогами и карами. Окружающие долину центральные части узла Биш-Иирду имеют острую зубчатую линию с высотами более 3500 м над ур. м. Территория бассейна сложена разнообразными и сильно дислоцированными серицито-хлоритовыми сланцами и другими породами девонского возраста, подверженными процессам выветривания и легко разрушающимися [5, 6]. Верхняя часть долины занята долинными ледниками Малый Актру и Большой Актру, в 1960-е гг. разделившегося на два отдельных ледника Левый и Правый Актру. Дно долины р. Актру выполнено водно-ледниковыми отложениями

большой мощности, сформировавшимися в ходе таяния ледников в плейстоцене-голоцене [7]. Оно представляет собой относительно ровную задровую поверхность, по которой протекает река, разделяясь в ее нижней части на несколько ежегодно мигрирующих рукавов. Юные и формирующиеся террасы р. Актру, на которых сформировались лиственничники, расположены на водно-ледниковых отложениях (высота 2100–2150 м над ур. м.), находящихся на разных уровнях относительно уреза воды за пределами зоны, подверженной значительным нарушениям, связанным с образованием поверхностных и грунтовых наледей и ежегодными миграциями русла реки [4, 5, 8].

Для бассейна характерен резко континентальный климат западносибирского циклонического типа [7]. Климат суровый высокогорный с длинной зимой (ноябрь – апрель), летними заморозками и снегопадами, особенно частыми в июне и августе, среднегодовой температурой $-5,2^{\circ}\text{C}$, средней температурой июня $+8,4^{\circ}\text{C}$, июля $+9,6^{\circ}\text{C}$, августа $+7,7^{\circ}\text{C}$. Устойчивый переход температуры воздуха через 0°C к отрицательным значениям происходит во второй-третьей декаде октября, когда и формируется устойчивый снеговой покров. В течение года выпадает около 520 мм осадков, большая их часть (около 75%) – в теплое время года. Относительная влажность воздуха в среднем 67% [7, 9]. В период современного потепления климата, инструментально зафиксированного на Алтае с 1980-х гг., среднегодовая температура увеличилась с $-5,2^{\circ}\text{C}$ до -4°C , среднее количество годовых осадков уменьшилось с 520 мм до 470 мм [7, 10].

Возрастную структуру древесного яруса молодых лиственничников изучали на шести постоянных пробных площадях, где проводился сплошной пересчет деревьев лиственницы и кедра, измерялись их высоты и диаметры ствола. Для определения возраста деревьев были отобраны керны, взятые по двум радиусам в основании ствола на 134 модельных деревьях. В возрастной структуре древостоев выделялись возрастные категории – генерации. Подчиненные наземные ярусы – кустарниковый, травяно-кустарничковый, мохово-лишайниковый – обследовали методом стандартных геоботанических описаний, выполнявшихся на трансектах, пересекающих массивы молодых лиственничников в продольном и поперечном направлениях. Было выполнено 32 стандартных геоботанических

описания. Проективное покрытие видов растений, кустарникового, травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов указывалось в процентах.

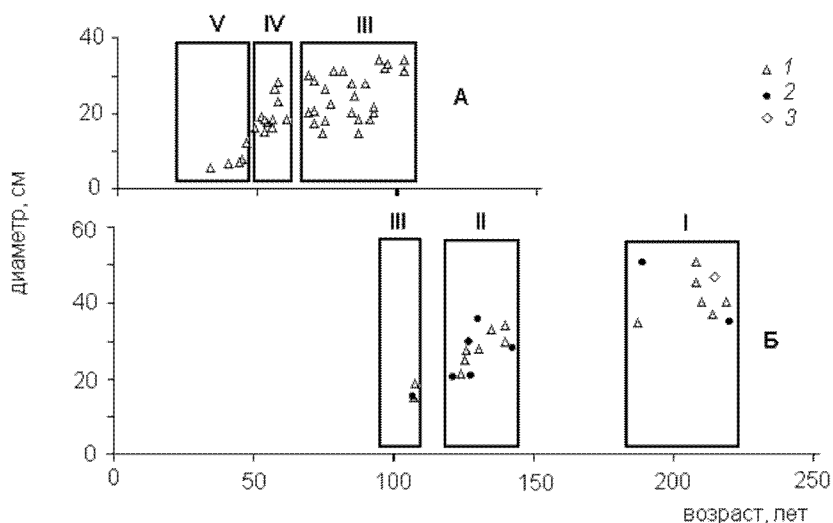
Результаты исследования и их обсуждение

Как показали проведенные исследования, формирование лиственничников на водно-ледниковых отложениях р. Актру началось более 200 лет назад. Так, на наиболее развитых юных террасах к настоящему времени сформировались зрелые лиственничники. В хорошо развитом древесном ярусе (сомкнутость крон 0,2–0,4) преобладает лиственница сибирская (*Larix sibirica*) при участии кедрового (*Pinus sibirica*). В древесном ярусе выделено три возрастных генерации лиственницы и кедра. В I генерации – материнском ярусе, возвышающемся над основным, (общая численность деревьев 192 экз/га) – преобладает 189–222-летняя лиственница высотой 15–22 м, диаметром ствола 15–46 см; отмечена примесь кедра и ели (*Picea obovata*). В основной – II генерации (329 экз/га) – лиственница и кедр представлены в близких пропорциях: 45 и 55 % соответственно. Деревья этой генерации имеют возраст 120–144 (150) года, высоту – 10–14 м и диаметр ствола – 14–31 см. В подчиненной части древостоя (III генерация, общая численность деревьев 261 экз/га) преобладает лиственница (61 %), значительно участие

кедра (39 %). В этой генерации лиственница имеет возраст 105–120 лет, кедр – около 110 лет; высота (5–9,5 м) и диаметр ствола (6–15 см) обоих видов имеют близкие значения. Наиболее выражена граница между I и II генерациями, четко выделяемая как по морфологическим признакам (высота деревьев, диаметр ствола), так и по возрасту (разница между генерациями около 40 лет); границы между II и III генерациями по изученным параметрам нечеткие (рисунок). Подрост представлен двумя (IV–V) генерациями, в которых абсолютно доминирует кедр с возрастом менее 70 лет, лиственница встречается единично. Крупный подрост кедра (IV генерация) имеет численность 307 экз/га, высоту 2–4 м, средний и мелкий (высотой менее 2 м) – более 4700 экз/га.

В этих лесах зарегистрировано 35 видов сосудистых растений, в том числе 3 вида деревьев, 7 видов кустарников, 1 вид кустарничков и 24 вида трав. Ведущими семействами являются Salicaceae (5 видов), Rosaceae (5 видов), Cyperaceae (4 вида) и Apiaceae (3 вида).

Проективное покрытие кустарникового яруса неравномерное и варьирует в зависимости от сомкнутости крон древесного яруса от 5 до 40 %. Наиболее важным видом кустарникового яруса является *Betula rotundifolia*, проективное покрытие которой в окнах древостоя достигает 20 %; значительна роль *Dasyphora fruticosa* и *Salix sapozhnikovii*. Проективное покрытие травяно-кустар-



Возрастные генерации (I–V) в молодых (А) и зрелых (Б) лиственничниках, произрастающих на водно-ледниковых отложениях р. Актру. Виды деревьев: 1 – лиственница сибирская, 2 – кедр сибирский, 3 – ель сибирская. Возраст и диаметр модельных деревьев даны на 2020 г.

ничкового яруса изменяется от 10 до 50%. В этом ярусе преобладает злак *Poa altaica* (до 15%) и виды семейства бобовых (Fabaceae): *Astragalus frigidus* и *Hedysarum neglectum* (около 10%); с невысоким участием отмечены *Carex media*, *C. sabyensis* и *Festuca rubra* и др. Моховой ярус неравномерный; проективное покрытие варьирует от 2–5 до 60–70%. В сложении яруса участвуют 9 видов листостебельных мхов и 2 вида напочвенных лишайников (примесь). Среди мхов преобладают два вида: *Sanionia uncinata* и *Dicranum spadicum*.

Фрагменты лиственничников на формирующихся террасах значительно моложе: их формирование началось немногим более 100 лет назад. В древесном ярусе отмечена только лиственница. Сомкнутость крон древесного яруса неравномерная, изменяется от 0,1–0,3 до 0,6. В древесном ярусе этих лиственничников общая численность деревьев варьирует от 983 до 1700 экз/га; на момент обследования особи лиственницы имели высоту 6–13 м, диаметр 6–22 см, возраст 30–104 года, а подрост представлен единичными экземплярами кедра. Здесь выделяются две возрастные генерации деревьев. Деревья I генерации имели возраст 69–104 года, высоту 5,5–13 м, диаметр ствола 8–22 см, II генерации – 30–58 лет, 4–10 м и 3–16,5 см соответственно. По морфологическим признакам (высоте и диаметру) деревья лиственницы имеют близкие значения, что, возможно, связано со спецификой условий местообитаний на формирующихся террасах р. Актру. Подрост слабо развит: в нем отмечены только немногочисленные особи кедра высотой менее 2 м; подрост лиственницы отсутствует.

В этих молодых лесах отмечено 59 видов сосудистых растений из 22 семейств и 45 родов, 16 видов листостебельных мхов и 2 вида лишайников. Ведущими семействами являются Asteraceae (10 видов), Poaceae (8) и Salicaceae (8), Fabaceae (4), Apiaceae (3), Ruicolaceae (3) и Rosaceae (3 вида).

Кустарниковый ярус (13 видов, в составе которого преобладают виды ив – *Salix*) на участках с разреженным древесным ярусом хорошо развит, его проективное покрытие может достигать 50–60%. В отличие от зрелых лиственничников, в этих лесах основное проективное покрытие создается тремя видами кустарников, прежде всего ивами: *Salix coesia*, *S. sapozhnikovii* (5–25%), в меньшей степени *Betula rotundifolia* (6–10%); с незначительным участием отмечены *Juniperus sibirica*, *Dasyphora fru-*

ticosa, *Salix divaricata*, *S. hastata*. В травяно-кустарничковом ярусе представлены 41 вид трав и 2 вида кустарничков (*Dryas oxyodonta*, *Salix rectijulis*). Проективное покрытие этого яруса изменяется от 10 до 50%. Значительное разнообразие имеют злаки *Festuca rubra*, *F. sphagnicola*, *Poa alpina*, *P. altaica* и *P. sibirica*, *Elymus transbaikalensis*, совместное проективное покрытие которых составляет 3–5%; с более низким обилием отмечены *Astragalus frigidus* и *Hedysarum neglectum*, *Aster sibiricus*, *Scorzonera radiata*, *Chamaenerion latifolium*, *Bistorta vivipara*, *Orthilla obtusata* и др. Моховой ярус развит неравномерно, его проективное покрытие изменяется от 2–3 до 60%. В сложении этого яруса в целом участвуют 16 видов листостебельных мхов и 2 вида напочвенных лишайников. Важнейшую роль в его формировании играет мох *Sanionia uncinata* (проективное покрытие 30–60%), на отдельных участках отмечено значительное участие (до 10%) *Stereodon revolutus* и *Hypnum revolutum*.

В целом в обследованных лиственничниках выделяется несколько генераций деревьев лиственницы по времени их появления на водно-ледниковых отложениях: 180–220, 120–140, 70–110 и менее лет назад (рисунок). Юные террасы р. Актру начали заселяться лиственницей 180–220 лет назад, формирующиеся – 70–110. При этом только I генерация деревьев лиственницы в зрелых лиственничниках четко выделяется как по морфологическим признакам, так и по возрасту, тогда как между остальными генерациями деревьев этого вида границы нечеткие. Полученные данные, скорее всего, свидетельствуют о достаточно благоприятных условиях для появления и существования деревьев лиственницы, в меньшей степени кедра и об отсутствии длительно действующих неблагоприятных факторов, таких как миграции русла реки, образование мощных ручейных и грунтовых наледей, размыв террас и т.п. за последние 100–150 лет.

Время появления (180–220 лет назад) первой генерации деревьев лиственницы в зрелом лиственничнике (рисунок, б, I) соответствует времени формирования второго поколения деревьев в некоторых старовозрастных лесах [11], а время появления (70–110 лет назад) первой генерации деревьев в молодых лиственничниках (рисунок, а, III) – времени массового заселения лесотундрового экотона деревьями [3] и формированию третьего поколения деревьев

в некоторых старовозрастных лесах [11]. Следовательно, в эти периоды существовали достаточно благоприятные условия для появления новых генераций деревьев и формирования лесов в целом в верховьях р. Актру.

Видовое разнообразие сосудистых растений в обследованных лиственничниках составляет 70 видов, в том числе 3 вида деревьев, 14 видов кустарников, 2 вида кустарничков и 51 вид трав, а также – 16 видов листостебельных мхов и 2 вида напочвенных лишайников. Несмотря на то, что состав обладающих наибольшим проективным покрытием трав и кустарников имеет некоторое сходство, видовой состав сосудистых растений в целом значительно различается. Общими для обследованных лиственничников на водно-ледниковых отложениях долины р. Актру являются только 36,2% от числа видов (21 вид) сосудистых растений. Среди них наиболее важными общими видами, играющими значимую роль в формировании древесного, кустарникового и травяно-кустарничкового ярусов, являются деревья *Larix sibirica* и *Pinus sibirica*; кустарники *Betula rotundifolia*, *Salix sapozhnikovii*, *S. coesia*, *Betula rotundifolia*, *Dasyphora fruticosa*, травы *Astragalus frigidus*, *Hedysarum neglectum*, *Festuca rubra*, *Poa alpina* и *P. altaica* и др. Среди листостебельных мхов различия более значительны – только 3 вида мхов являются общими для зрелых и молодых лиственничников, среди них наиболее значимую роль имеет мох *Sanionia uncinata*, преобладающий в моховом ярусе. Для зрелых лесов, формирование которых началось более 200 лет назад, характерно более низкое видовое разнообразие сосудистых растений и листостебельных мхов, чем для более молодых. Напочвенные лишайники в обследованных лиственничниках не имеют сколько-нибудь значимой ценотической роли.

Закключение

Таким образом, на молодых водно-ледниковых отложениях долины р. Актру в период современного потепления климата отмечены два варианта лиственничников: зрелые (старше 200 лет), приуроченные к наиболее развитым юным террасам р. Актру, и молодые (около 100 лет), приуроченные к формирующимся террасам. В древесном ярусе зрелых лесов сформировалось три генерации деревьев лиственницы и кедра. В составе древостоя преобладает лиственница сибирская, значительно

участие кедра сибирского. Подрост густой, с доминированием кедра. В этих лесах видовой состав сосудистых растений обеднен (34 вида), ведущую роль в сложении подчиненных наземных ярусов играют кустарники и многолетние травы. В древесном ярусе молодых лиственничников выделяется две генерации деревьев лиственницы. Подрост единичен, представлен в основном кедром. Видовое разнообразие сосудистых растений (59 видов) в 1,5 раза выше, чем в зрелых лиственничниках. Только 21 вид сосудистых растений и 3 вида мхов являются общими для обоих вариантов обследованных лиственничников. Ведущую роль в сложении подчиненных наземных ярусов этих лесов играют кустарники, многолетние травы и листостебельные мхи.

Современная возрастная структура молодых лиственничников на юных и формирующихся террасах водно-ледниковых отложений в долине р. Актру свидетельствует о достаточно благоприятных условиях для появления и существования деревьев лиственницы сибирской, в меньшей степени кедра сибирского, и формирования древостоев молодых лиственничников и отсутствии длительно действующих неблагоприятных факторов на протяжении последних 100–150 лет. Наличие в подросте более зрелых лиственничников большого количества кедра указывает на потенциальную возможность смены этих лиственничных лесов кедровыми.

Дальнейшие исследования лесов на водно-ледниковых отложениях связаны с сопоставлением их возрастной структуры и видового состава с лесами на склонах долины р. Актру, других долин Северо-Чуйского центра оледенения, а также – Южно-Чуйского и Катунского центров оледенения в Русском Алтае. Это поможет корректно и надежно восстановить историю формирования таких лесов в циклах похолодания и потепления климата.

Исследование выполнялось в рамках госбюджетной темы ИМКЭС СО РАН № 121031300226-5, при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ.

Список литературы / References

1. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Geneva: IPCC. 2014. 151 P.
2. Ilyashuk E.A., Heiri O., Ilyashuk B.P., Konig K.A., Psenner R. The Little Ice Age signature in a 700-year high-resolution chironomid record of summer temperatures in the Central Eastern Alps. *Climate Dynamics*. 2019. № 52. P. 6953–6967. DOI: 10.1007/s00382-018-4555-y.
3. Timoshok E.E., Timoshok E.N., Nikolaeva S.A., Savchuk D.A., Filimonova E.O., Skorokhodov S.N., Bocharov A.Yu.

Monitoring of high altitudinal terrestrial ecosystems in the Altai Mountains. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2016. Vol. 48. P. 1–9. DOI: 10.1088/1755-1315/48/1/012008.

4. Timoshok E.E., Timoshok E.N. Rayskaya Yu.G. Colonization of the young glaciofluvial deposits at the period of the modern climate warming in the North-Chuya glaciation center. IOP conference series: Earth and Environment Science. 2020. Vol. 548. № 062045. P. 1–6. DOI: 10.1088/1755-1315/548/6/062045.

5. Душкин М.А. Геоморфологический очерк ледникового бассейна Актру // Гляциология Алтая. Томск, 1967. Вып. 5. С. 42–65.

Duskin M.A. Geomorphological description of the Aktru glacier basin // Glatsiologiya Altaya. Tomsk, 1967. Iss. 5. P. 42–65 (in Russian).

6. Окишев П.А. Рельеф и оледенение Русского Алтая. Томск: Изд-во ТГУ, 2011. 382 с.

Okishev P.A. Relief and glaciation of the Russian Altai. Tomsk: Izd-vo TGU, 2011. 382 p. (in Russian).

7. Тронов М.В., Тронова Л.Б., Белова Н.И. Основные черты климата горно-ледникового бассейна Актру // Гляциология Алтая. Томск, 1965. Вып. 4. С. 3–48.

Tronov M.V., Tronova L.B., Belova N.I. Main features of climate of the Aktru mountain glacier basin // Glatsiologiya Altaya. Tomsk, 1965. Iss. 4. P. 3–48 (in Russian).

8. Hedding D.W., Erofeev A.A., Hansen C.D., Khon A.V., Abbasov Z.R. Geomorphological processes and landforms of glacier forelands in the upper Aktru River basin (Gorniy Altai), Russia: evidence for rapid recent retreat and paraglacial adjustment. Journal of Mountain Science. 2020. Vol. 17. № 4. P. 824–837. DOI: 10.1007/s11629-019-5845-5.

9. Ледники Актру (Алтай). Л.: Гидрометеиздат, 1987. 120 с.

The Aktru Glaciers (the Altai). L.: Gidrometeoizdat, 1987. 120 p. (in Russian).

10. Kharlamova N., Sukhova M. and Chalchula J. Present climate development in Southern Siberia: a 55-year weather observation record. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 48. P. 12–27. DOI: 10.1088/1755-1315/395/1/012027.

11. Николаева С.А., Савчук Д.А., Бочаров А.Ю. Влияние различных факторов на прирост деревьев *Pinus sibirica* в высокогорных лесах Центрального Алтая // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2015. Т. 8. № 3. С. 299–318. DOI: 10.17516/1997-1389-2015-8-3-299-318.

Nikolaeva S.A., Savchuk D.A., Bocharov A.Yu. Influence of different factors on tree growth of *Pinus sibirica* in the highlands of the Central Altai Mountains // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Biologiya. 2015. Vol. 8. № 3. P. 299–318. DOI: 10.17516/1997-1389-2015-8-3-299-318 (in Russian).

СТАТЬИ

УДК 551.34:536.24

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СКОРОСТЬ ОТТАИВАНИЯ
ДИСПЕРСНЫХ ПОРОД****Галкин А.Ф.***Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, e-mail: afgalkin@yandex.ru*

Целью работы являлась оценка влияния температурного фактора на скорость оттаивания дисперсных мерзлых горных пород, вмещающих подземное сооружение. Рассмотрено влияние как естественной температуры горных пород, так и температуры воздуха в подземном сооружении. Для обобщения полученных результатов использовался безразмерный температурный критерий, характеризующий отношение средней температуры воздуха за период оттаивания к начальной средней температуре мерзлых пород, вмещающих подземное сооружение. В качестве примера рассмотрен подземный объект с цилиндрической симметрией, размещенный в мерзлых дисперсных породах и эксплуатирующийся с положительной температурой воздуха. Решение задачи получено в безразмерной, удобной для качественного и количественного анализа, форме. Получены простые инженерные формулы для оценки влияния начальной температуры пород и температуры воздуха в сооружении на скорость оттаивания дисперсных мерзлых пород. Проведено сравнение двух вариантов оттаивания при естественной температуре пород, как равной температуре плавления льда (однофазная задача), так и неравной (двухфазная задача). Результаты вариантных расчетов представлены в виде 3D графиков, которые позволяют наглядно определить степень влияния естественной температуры пород и температуры воздуха в сооружении на скорость оттаивания. Показано, что предварительное охлаждение пород является эффективным средством управления температурным режимом и позволяет существенно снизить скорость оттаивания породного массива. Установлено, что с ростом глубины оттаивания возрастает влияние естественной температуры горных пород на скорость оттаивания. Однако, чем выше температура воздуха в выработке, тем это влияние меньше.

Ключевые слова: оттаивание, скорость, мерзлые породы, криолитозона, температура, метод расчета**INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE RATE OF DEFROSTING
OF DISPERSED ROCKS****Galkin A.F.***Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, e-mail: afgalkin@yandex.ru*

The aim of the work was to assess the influence of the temperature factor on the rate of thawing of dispersed frozen rocks. The influence of both the natural temperature of rocks and the air temperature in an underground structure is considered. To generalize the results obtained, a dimensionless temperature criterion was used, which characterizes the ratio of the average air temperature during the thawing period to the initial average temperature of the frozen rocks enclosing the underground structure. As an example, a subterranean object with cylindrical symmetry, located in frozen dispersed rocks and operating with a positive air temperature, is considered. The solution to the problem is obtained in a dimensionless form convenient for qualitative and quantitative analysis. Simple engineering formulas were obtained to assess the influence of the initial temperature of rocks and air temperature in a structure on the rate of thawing of dispersed frozen rocks. A comparison is made of two variants of thawing at the natural temperature of rocks, both equal to the melting temperature of ice (one-phase problem) and not equal (two-phase problem). The results of variant calculations are presented in the form of a 3D graph, which allows you to visually assess the degree of influence of the natural temperature of rocks and air temperature in the structure on the thawing rate. It is shown that pre-cooling of rocks is an effective means of temperature control and can significantly reduce the rate of thawing of the rock mass. It was found that with an increase in the thawing depth, the influence of the natural temperature of rocks on the thawing rate increases. However, the higher the air temperature in the mine, the less this effect.

Keywords: thawing, speed, frozen rocks, permafrost, temperature, calculation method

Строительство и эксплуатация инженерных объектов в криолитозоне осложняет ряд негативных факторов, одним из которых является зависимость механических свойств грунтов и дисперсных пород от температуры [1, 2]. Если в мерзлом состоянии грунты и породы обладают достаточной прочностью, то с повышением температуры прочность их существенно снижается. В общем случае, для характерных пород, эта зависимость близка к квадратичной [3, 4] в диапазоне отрицательных температур. Например, если температура мерзлых дисперсных

горных пород повышается в четыре раза (с $-4,0^{\circ}\text{C}$ до $-1,0^{\circ}\text{C}$), то прочность льдистого песчаника на сжатие уменьшается в два раза. При переходе из мерзлого состояния в талое отдельные виды дисперсных пород и льдистых грунтов полностью теряют свою несущую способность. Это не только осложняет эксплуатацию инженерных объектов (как наземных, так и подземных), но и может приводить к аварийным ситуациям и техногенным катастрофам [5–7]. Поэтому прогноз температурного режима грунтовых оснований поверхностных ин-

женерных сооружений и дисперсных горных пород, вмещающих подземные и заглубленные сооружения, является актуальной задачей, позволяющей уже на стадии проектирования определить степень надежности принимаемых технических решений и оценить возможные риски при эксплуатации объектов в криолитозоне. При этом такие показатели, как глубина и скорость оттаивания грунтовых оснований и дисперсных пород, являются одними из основных при прогнозе теплового режима [8, 9]. Возможность управления этими показателями позволяет значительно снизить риски и повысить эксплуатационную надежность инженерных объектов криолитозоны. Известно, в частности, что эффективным способом управления глубиной оттаивания, наряду с применением специальных теплозащитных покрытий, является предварительное охлаждение горных пород вокруг подземного сооружения [10–12].

Целью настоящей работы была оценка влияния температурного фактора на скорость оттаивания дисперсных мерзлых горных пород. При этом рассматривается как естественная температура мерзлых пород, так и температура воздуха в сооружении.

Материалы и методы исследования

Для достижения цели воспользуемся методологией, изложенной нами ранее в работах [13–15], которая основана на использовании безразмерных критериев для нахождения искомых параметров. Исходным выражением для получения расчетных формул является условие Стефана, которое для двухфазной задачи может быть записано в виде

$$\frac{dS}{d\tau} = -\tilde{\lambda}_1 \left. \frac{\partial T_1}{\partial R} \right|_{R=S} + \tilde{\lambda}_2 \left. \frac{\partial T_2}{\partial R} \right|_{R=S}, \quad (1)$$

где

$$\tilde{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\rho L W}, \quad (2)$$

λ_i – коэффициент теплопроводности теплых ($i = 1$) и мерзлых ($i = 2$) пород, Вт/м·К; R – координата, м; S – глубина оттаивания пород, м; τ – время, с; ρ – плотность мерзлых пород, кг/м³; L – скрытая теплота плавления льда, Дж/кг ($L = 335 \cdot 10^3$ Дж/кг); W – льдистость пород, доли единицы; T_i – температура пород, °C ($i = 1$ – талых; $i = 2$ – мерзлых).

Рассмотрим для примера цилиндрическое подземное сооружение, размещенное в мерзлых дисперсных породах и эксплуати-

рующееся с положительной температурой воздуха. Примем распределение температуры в талой и мерзлой зоне квазистационарным, т.е.

$$T_i = A_i \ln R + B_i, \quad i = 1, 2. \quad (3)$$

Для нахождения коэффициентов A_i и B_i воспользуемся следующими граничными условиями

$$-\lambda_1 \left. \frac{\partial T_1}{\partial R} \right|_{R=R_0} = \alpha (T|_{R=R_0} - t_b), \quad (4)$$

$$T_1|_{R=S} = T_2|_{R=R_0} = T_{пл}, \quad (5)$$

$$T_2|_{R=\delta} = T_e. \quad (6)$$

Здесь обозначены: T_e – температура горных пород на глубине радиуса теплового влияния выработки, °C; δ – радиус теплового влияния, м; α – коэффициент теплопередачи от воздуха к поверхности, Вт/м²·К; R_0 – эквивалентный радиус выработки, м; t_b – температура воздуха в выработке, °C.

Используя условия (4) и (5), найдем параметр A_1 :

$$A_1 = \frac{B_i(t_b - t_{пл})}{1 + B_i \ln(R_0 / S)}. \quad (7)$$

Где B_i – число Био, равное $B_i = (\alpha R_0 / \lambda_1)$.

Термическое сопротивление теплозащитного слоя входит в параметр « α » и может быть определено по формуле [14].

$$R_T = (\delta_T / \lambda_T) = (1 / \lambda Bi) - 1 / \alpha_0. \quad (8)$$

Параметр A_2 может быть найден из граничных условий (5) и (6).

$$A_2 = \frac{T_{пл} - T_e}{\ln(S / \delta)}. \quad (9)$$

После несложных преобразований выражение (1) может быть представлено в безразмерном виде

$$\frac{dS}{d\tau} = (-\tilde{\lambda}_1 A_1 + \tilde{\lambda}_2 A_2) / S, \quad (10)$$

$$\tilde{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\rho L W}.$$

Если температура горных пород близка к температуре плавления льда, то $A_2 \rightarrow 0$ и скорость оттаивания пород будет равна

$$\frac{dS}{d\tau} = -\tilde{\lambda}_1 A_1 / S. \quad (11)$$

Выражение (11) позволяет определить степень влияния числа Био, характеризующего в данном случае термическое сопротивление теплозащитного слоя, на скорость оттаивания дисперсных пород.

Найдем функцию отношений скоростей оттаивания при разных начальных температурах горных пород, разделив выражение (10) на (11):

$$f = 1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \frac{A_2}{A_1}, \quad (12)$$

где

$$\frac{A_2}{A_1} = - \left(\frac{T_{\text{пл}} - T_e}{t_b - T_{\text{пл}}} \right) \frac{(1/B_i) + \ln(R_0/S))}{\ln(\delta/S)}. \quad (13)$$

Окончательно, для определения соотношения скоростей оттаивания с учетом того, что температура в мерзлой зоне не равна $T_{\text{пл}}$ и равна $T_{\text{пл}}$, получим

$$f = 1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot \theta \cdot \left[\frac{\left(\frac{1}{B_i} \right) - \ln(S/R_0)}{\ln(\delta/S)} \right], \quad (14)$$

$$\theta = \frac{T_{\text{пл}} - T_e}{t_b - T_{\text{пл}}}.$$

Анализ выражения (14) показывает, что оно не зависит от льдистости пород напрямую и определяется только соотношениями

температур (t/T_e) и коэффициентов теплопроводности (λ_2/λ_1). В то же время сам параметр « S », входящий в формулу, зависит от льдистости, поэтому параметр « f » в общем случае является функцией критерия Стефана [15].

Для граничных условий первого рода ($B_i \rightarrow \infty$), принимая температуру плавления льда, равной 0°C , выражение (14) преобразуется к виду

$$f = 1 - \ln \left(\frac{S}{R_0} \right)^P, \quad P = \left(\frac{\lambda_2 T_e}{\lambda_1 t_b} \right) / (\ln(\delta/S)). \quad (15)$$

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ выражения (15) показывает, что в начальный момент оттаивания $S \rightarrow R_0$ естественная температура горных пород не оказывает существенного влияния на скорость оттаивания (здесь необходимо учесть, что время начала оттаивания определяется отдельно для случая $T \neq T_{\text{пл}}$). С ростом глубины оттаивания отношение уменьшается, что свидетельствует о возрастании влияния естественной температуры горных пород на процесс оттаивания. Однако, чем выше температура воздуха в выработке, тем это влияние меньше.

По полученным формулам были проведены варианты расчеты, которые представлены в виде 3D графиков на рис. 1 и 2.

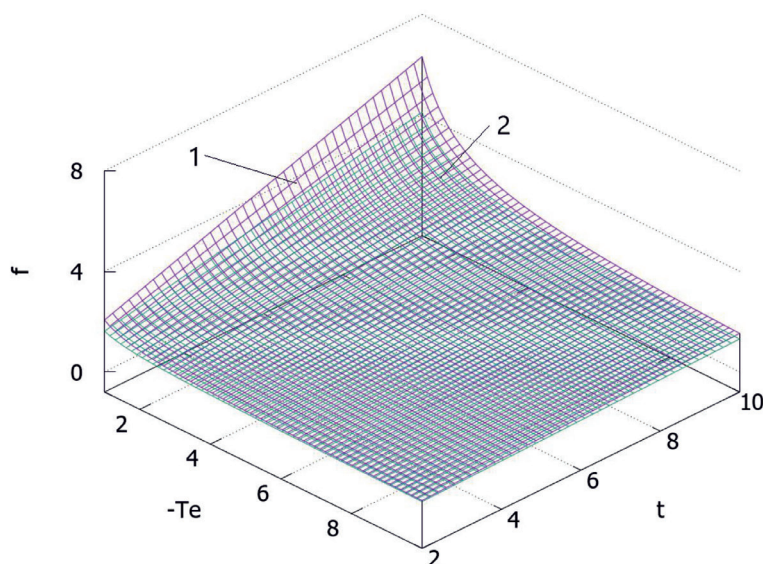


Рис. 1. Изменение скоростей оттаивания горных пород (f) в зависимости от их естественной температуры (T_e , $^\circ\text{C}$) и температуры воздуха в сооружении (t , $^\circ\text{C}$):
1 – при $h = R_0$; 2 – при $h = R_0/2$

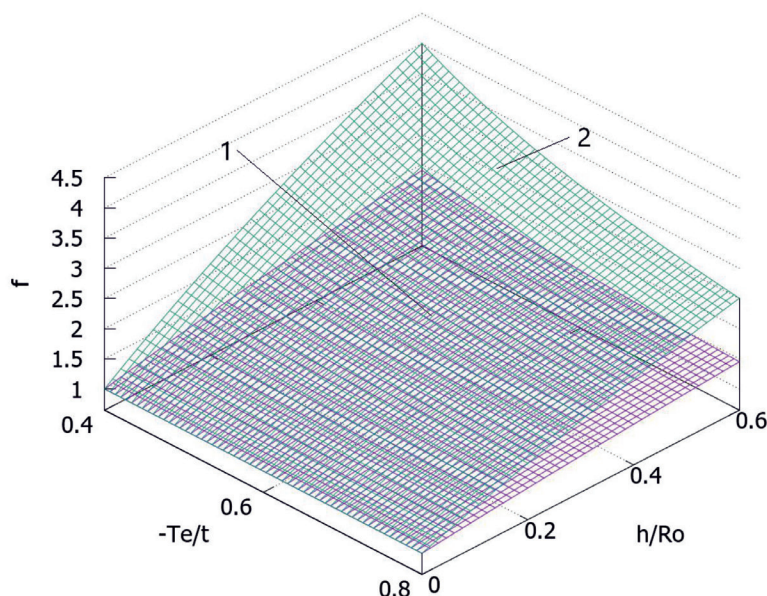


Рис. 2. Изменение скоростей оттаивания горных пород (f) в зависимости от безразмерной температуры (T_e/t) и относительной глубины оттаивания (h/R_o):
1 – при $(\lambda_z/\lambda_p) = 4,0$; 2 – при $(\lambda_z/\lambda_p) = 1,2$

На рис. 1 показана зависимость параметра « f » от температуры воздуха в сооружении и естественной температуры горных пород. При этом принимались следующие характерные значения исходных данных: отношение коэффициентов теплопроводности мерзлых и талых пород – 1,2; отношение глубины ореола оттаивания к эквивалентному радиусу – 0,5 и 1,0. По оси «х» естественная температура горных пород приведена в абсолютных значениях.

Как видно из графиков на рисунке, с увеличением длительности периода оттаивания отношение скоростей оттаивания увеличивается: плоскость 1 находится выше плоскости 2. При этом качественный характер изменения параметра « f » практически не изменяется. С понижением естественной температуры значение его уменьшается. А при постоянной естественной температуре наблюдается сильная зависимость от температуры воздуха в сооружении. Причем чем выше естественная температура горных пород, тем эта зависимость сильнее. Об этом свидетельствует простое сравнение степени наклона плоскостей на рисунке, например, при температурах $-2,0^\circ\text{C}$ и $-8,0^\circ\text{C}$.

На рис. 2 показана зависимость параметра « f », характеризующего отношения скоростей оттаивания пород при различной естественной температуре пород, в зависимости от безразмерного ореола оттаивания

при различных теплофизических характеристиках (коэффициентов теплопроводности в мерзлом и талом состоянии). При этом для наглядности, в качестве сравнения, взято максимально возможное отношение коэффициентов теплопроводности пород в мерзлом и талом состоянии. То есть в качестве окружающих пород принят лед. В этом случае отношение равно 4. Для сравнения взят характерный вариант дисперсных пород с отношением коэффициентов теплопроводности в мерзлом и талом состоянии, равном 1, 2. При этом рассмотрен период, когда глубина ореола оттаивания изменяется от 0 (начало оттаивания) до 0,6 от эквивалентного радиуса выработки. Такой диапазон является характерным, например, для горных выработок рудников криолитозоны.

Как следует из рисунка, теплофизические свойства горных пород оказывают существенное влияние на изменение скорости оттаивания горных пород. Причем чем больше значение отношения коэффициентов теплопроводности пород в мерзлом и талом состоянии, тем эта зависимость сильнее.

Закключение

Сделана оценка влияния температурного фактора на скорость оттаивания дисперсных мерзлых горных пород, вмещающих подземное сооружение. Рассмотрено влияние как естественной температуры

горных пород, так и температуры воздуха в подземном сооружении. Для обобщения полученных результатов использовался безразмерный температурный критерий, характеризующий отношение средней температуры воздуха за период оттаивания к начальной средней температуре мерзлых пород, вмещающих подземное сооружение. В качестве примера рассмотрен подземный объект с цилиндрической симметрией, размещенный в мерзлых дисперсных породах и эксплуатирующийся с положительной температурой воздуха. На основе приближенного решения двухфазной задачи Стефана для подземного объекта цилиндрической симметрии при граничных условиях третьего рода получены простые инженерные зависимости и разработан простой и понятный алгоритм оценки влияния естественной температуры мерзлых горных пород и температуры воздуха в сооружении на скорость оттаивания. Показано, что допущение о равенстве естественной температуры горных пород температуре плавления льда может существенно завышать скорость оттаивания в широком диапазоне исходных параметров. Причем, чем больше длительность процесса оттаивания, тем это отношение больше. Хотя по абсолютным значениям скорости оттаивания в обоих случаях уменьшаются с течением времени. В начальный момент оттаивания $S \rightarrow R_0$ естественная температура горных пород не оказывает существенного влияния на скорость оттаивания (здесь необходимо учесть, что время начала оттаивания определяется отдельно для случая $T \neq T_{пл}$). С ростом глубины оттаивания отношение уменьшается, что свидетельствует о возрастании влияния естественной температуры горных пород на процесс оттаивания. Однако, чем выше температура воздуха в выработке, тем это влияние меньше. Дальнейшие исследования в данной области должны быть направлены на определение влияния естественной температуры горных пород на скорость оттаивания дисперсных горных пород вокруг сооружений различной симметрии.

Список литературы / References

1. Скуба В.Н. Исследование устойчивости горных выработок в условиях многолетней мерзлоты. Новосибирск: Наука, 1974. 118 с.
2. Scuba V.N. Research on the sustainability of mining in permafrost. Novosibirsk: Nauka, 1974. 118 p. (in Russian).
3. Воронов Е.Т., Бондарь И.А. Влияние температурного фактора на безопасность и эффективность ведения подземных горных работ в криолитозоне // Вестник ЧитГУ. 2010. № 5 (62). С. 85–93.
4. Voronov E.T., Bondar I.A. Influence of the temperature factor on the safety and efficiency of underground mining in the permafrost zone // Bulletin of ChitGU. 2010. No. 5 (62). P. 85–93 (in Russian).
5. Guo fang Xu, Jilin Qi, Wei Wu. Temperature Effect on the Compressive Strength of Frozen Soils: A Review. Recent Advances in Geotechnical Research, Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. 2019. P. 227–236. DOI: 10.1007/978-3-319-89671-7_19.
6. Teng J., Shan F., He Z., Zhang S., Sheng D. Experimental study of ice accumulation in unsaturated clean sand. Géotechnique. 2018. P. 208–225. DOI: 10.1680/jgeot.17.P.208.
7. Шац М.М. Современное состояние городской инфраструктуры г. Якутска и пути повышения ее надежности // Геориск. 2011. № 2. С. 40–46.
8. Shats M.M. The current state of the urban infrastructure of Yakutsk and ways to improve its reliability // Georisk. 2011. No. 2. P. 40–46 (in Russian).
9. Железняк М.Н., Шестернев Д.М., Литовко А.В. Проблемы устойчивости автомобильных дорог в криолитозоне // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. М.: «Геомаркет», 2018. С. 223–227.
10. Zheleznyak M.N., Shesternev D.M., Litovko A.V. Problems of stability of highways in permafrost // Perspektivy razvitiya inzhenernykh izyskaniy v stroitel'stve v Rossiyskoy Federatsii. M.: «Geomarket», 2018. P. 223–227 (in Russian).
11. Панков В.Ю., Бурнашева С.Г. Анализ способов защиты автомобильных дорог от негативных криогенных процессов // Лучшая студенческая статья 2020: сб. ст. XXIX Межд. науч.-исслед. конк. Пенза: МЦНС «Наука и просвещение», 2020. С. 52–55.
12. Pankov V.Yu., Burnasheva S.G. Analysis of ways to protect highways from negative cryogenic processes // Luchshaya studentskaya stat'ya 2020: sb. st. XXIX Mezhd. nauch.-issled. konk. Penza: MTSNS «Nauka i prosveshcheniye», 2020. P. 52–55 (in Russian).
13. Galkin A.F. Thermal conditions of the underground town collector tunnel // Metallurgical and Mining Industry. 2015. No. 8. P. 70–73.
14. Zhang X., Feng S.G., Chen P.C. Thawing settlement risk of running pipeline in permafrost regions // Oil Gas Storage Transportation. 2013. No. 6. P. 365–369.
15. Дугартыренов А.В., Бельченко Е.Л. Параметры теплоизоляции при промерзании грунтов на допустимую глубину // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2009. № 5. С. 44–47.
16. Dugartsyrenov A.V., Belchenko E.L. The parameters of insulation when the soils are frozen at an acceptable depth // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal). 2009. No. 5. P. 44–47 (in Russian).
17. Ushakov G.S., Galkin A.F. Calculation of the stable room span when the rock mass is subjected to additional freezing // Soviet Mining. 1976. Vol. 12. Issue 4. P. 364–367.
18. Железняк М.Н., Сериков С.И., Шац М.М. Эколого-геокриологические и геотехнические условия газотранспортной системы «Сила Сибири» // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2018. Т. 17. № 2. С. 189–200. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.2.8.
19. Zheleznyak M.N., Serikov S.I., Shatz M.M. Ecological, geocryological and geotechnical conditions of the Power of Siberia gas transmission system // Bulletin of PNIPI. Geology. Oil and gas and mining. 2018. Vol. 1. No. 2. P. 189–200 (in Russian). DOI: 10.15593/2224-9923/2018.2.8.
20. Galkin A.F., Kurta I.V., Pankov V.Yu. Calculation of thermal conductivity coefficient of thermal insulation mixtures. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 918 (2020) 012009.
21. Галкин А.Ф. Расчет параметров теплозащитных покрытий подземных сооружений криолитозоны // Известия вузов. Горный журнал. 2008. № 6. С. 81–89.
22. Galkin A.F. Calculation of the parameters of heat-shielding coatings of underground structures of the permafrost zone // Izvestiya VUZov. Gornyy zhurnal. 2008. No. 6. P. 81–89 (in Russian).
23. Галкин А.Ф., Курта И.В. Влияние температуры на глубину оттаивания мерзлых пород // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 2. С. 82–91. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-82-91.
24. Galkin A.F., Kurta I.V. Influence of temperature on the depth of thawing of frozen rocks // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal). 2020. No. 2. P. 82–91 (in Russian). DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-82-91.

УДК 911.52(477.75)

**ДИНАМИКА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ
В ЛАНДШАФТАХ РАВНИННОГО КРЫМА****Горбунов Р.В., Горбунова Т.Ю., Табунщик В.А., Дрыгваль А.В., Сафонова М.С.***ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,
Севастополь, e-mail: karadag_station@mail.ru*

Изменение климата влияет на природные процессы, в том числе на количество и пространственно-временную дифференциацию атмосферных осадков. Изучение таких изменений особенно важно для равнинного Крыма в связи с засушливостью и нехваткой водных ресурсов на изучаемой территории. Увлажнение является лимитирующим фактором функционирования и развития, а также пространственно-временной динамики ландшафтов равнинного Крыма. В работе представлены результаты моделирования динамики количества выпадающих атмосферных осадков при смене циркуляционных эпох и периодов Северного полушария для каждого ландшафтного контура на территории равнинного Крыма. На примере ключевых участков по циркуляционным эпохам и периодам показаны связь пространственно-временной изменчивости динамики среднегодового количества выпадающих атмосферных осадков, значения стандартного отклонения и факторной энтропии. Установлено, что при смене циркуляционных эпох и периодов Северного полушария, начиная с зональной циркуляционной эпохи по четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи, ландшафты равнинного Крыма характеризуются увеличением среднегодового количества выпадающих атмосферных осадков. В пределах гидроморфного и плакорного ландшафтных уровней динамика поля атмосферных осадков характеризуется схожим и относительно однородным ходом. Изучение стандартного отклонения и факторной энтропии позволяет сделать вывод о формируемых ландшафтных стратегиях в условиях изменения количества атмосферных осадков в равнинном Крыму и о пространственных закономерностях распределения этих стратегий. В пределах гидроморфного ландшафтного уровня превалирует стратегия стабилизации, а в пределах плакорного ландшафтного уровня наблюдаются стратегии как развития, так и стабилизации.

Ключевые слова: равнинный Крым, осадки, изменения климата, циркуляционные эпохи и периоды, ландшафтная стратегия

DYNAMICS OF PRECIPITATION IN PLAIN CRIMEA LANDSCAPES**Gorbunov R.V., Gorbunova T.Y., Tabunshchik V.A., Drygval A.V., Safonova M.S.***A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol,
e-mail: karadag_station@mail.ru*

Climate change affects natural processes, including the amount and spatiotemporal differentiation of atmospheric precipitation. The study of such changes is especially important for the plain Crimea due to aridity and lack of water resources in the study area. Humidity is a limiting factor in the functioning and development, as well as the spatiotemporal dynamics of the plain Crimea landscapes. Paper presents results of modeling the dynamics of the amount of precipitation during the change of circulation epochs and periods of the Northern Hemisphere for each landscape contour of the plain Crimea. Using key areas, the relationship between the spatiotemporal variability of the average annual precipitation dynamics, the value of the standard deviation and the factor entropy is shown by circulation epochs and periods. It was found that with the change of circulation epochs and periods of the Northern Hemisphere, from the zonal circulation epoch to the fourth period of the southern meridional circulation epoch, plain Crimea landscapes are characterized by an increase in the average annual precipitation. Dynamics of the precipitation within the hydromorphic and upland landscape levels is characterized by a similar and relatively homogeneous course. The study of the standard deviation and factor entropy makes a conclusion about landscape strategies being formed under the conditions of changes in the amount of precipitation and about the spatial patterns of the distribution of these strategies. Stabilization strategy prevails within the hydromorphic landscape level, and within the upland landscape level, both development and stabilization strategies are observed.

Keywords: Plain Crimea, Precipitation, Climate Change, Circulation Epochs and Periods, Landscape Strategy

Изменение климата в Крыму характеризуется региональным аспектом, связанным с неравномерностью и разнонаправленностью протекающих процессов в различных его регионах, что обусловлено спецификой ландшафтной дифференциации территории полуострова. В частности, в ряде работ показана динамика элементов радиационного баланса [1–3], термического режима [4–6], элементов водного баланса [7–9] по территории Крымского полуострова. Показано,

что изменение климата в Крыму проявляется в целом в повышении температуры воздуха, росте континентальности и увеличении количества осадков, причем за счет увеличения ливневых осадков, что приводит к формированию условий для внутриландшафтной дифференциации и развитию ландшафтов на всех пространственных уровнях организации. Вместе с тем формирование ландшафтных стратегий развития или стабилизации протекает под воз-

действием всего комплекса факторов. В.Н. Петлин [10] под стратегией ландшафтной системы понимает совокупность взаимосвязанных черт, признаков и свойств ландшафтных систем, которые обеспечивают ее приспособление к изменяющимся условиям природной и антропогенно модифицированной окружающей среды и направлены на выполнение программы индивидуальной и групповой эволюции. Таким образом, можно говорить, что формируемая ландшафтная стратегия – это один из параметров реакции ландшафтов, в том числе на климатические изменения. В то же время при наличии достаточно большого количества публикаций, посвященных изучению изменения климата в Крыму, в настоящее время практически отсутствуют публикации, освещающие реакции ландшафтов на климатические изменения. Следует отметить работы [11–13], иллюстрирующие отдельные аспекты данного вопроса. Вместе с тем, прежде чем переходить к комплексным описаниям влияния изменения гидротермических условий на функционирование и динамику развития ландшафтов, необходимо рассмотреть влияние отдельных климатических характеристик.

Для территории Крымского полуострова лимитирующим фактором функционирования и развития ландшафтов, их пространственно-временной динамики является увлажнение. Исследованию водного баланса ландшафтов Крымского полуострова посвящены работы [11, 14]. В них описана межгодовая и сезонная динамика количества атмосферных осадков, приведены данные о динамике расхода рек Крымского полуострова. Ряд работ содержит результаты исследования процессов испарения и испаряемости отдельных ландшафтов Крымского полуострова [11, 15]. Вместе с тем при рассмотрении межгодовой динамики авторы часто анализируют тренды изменений, не соотнося эти изменения с глобальными циркуляционными процессами в атмосфере, которые и определяют во многом метеорологические условия и климатические характеристики отдельных регионов. Изменение же этих циркуляционных процессов иллюстрирует глобальные изменения в климатической системе и может выступать временными границами при анализе региональных проявлений изменения климата.

Основным и единственным источником поступления воды на территорию Крымского полуострова являются атмосферные осадки. Они формируют приходную часть

водного баланса ландшафтов и служат лимитирующим фактором их пространственно-временной организации. Целью данной работы является проанализировать пространственно-временную динамику количества атмосферных осадков в основных типах ландшафтов равнинного Крыма на фоне климатических изменений и выявить их роль в формировании индивидуальной ландшафтной стратегии.

Материалы и методы исследования

Крымский полуостров расположен в Восточной Европе, омывается водами Черного моря на юге и западе и водами Азовского моря на востоке и северо-востоке. Занимает площадь около 26 тыс. км². Крымский полуостров подразделяется на две крупные части – равнинную и горную. Равнины занимают большую часть полуострова в его северной и центральной части. Для равнинного Крыма характерны низменные и возвышенные равнины, а на Керченском полуострове – холмисто-грядовые равнины.

Согласно [15], на территории равнинного Крыма выделяются два ландшафтных уровня – гидроморфный и плакорный. Гидроморфный ландшафтный уровень располагается на относительных высотах до 40 м, на приморских низменностях (Присивашской, Сасык-Сакской и др.) и характеризуется плоским равнинным рельефом. Плакорный ландшафтный уровень характеризуется относительными высотами 40–150 м, имеет расчлененный долинно-балочный и денудационно-останцовый рельеф. К плакорному ландшафтному уровню относятся равнины Центрального Крыма, территория Тарханкутского полуострова и водораздельные равнины Керченского полуострова. Уровень грунтовых вод является ведущим фактором ландшафтной дифференциации ландшафтов гидроморфного и плакорного ландшафтных уровней.

Операционно-территориальной единицей исследования выступают ландшафтные контуры, представленные на ландшафтно-типологической карте Г.Е. Гришанкова [15]. В качестве ключевых участков были выбраны ландшафтные контуры (табл. 1), которые отражают основные типы ландшафтов равнинного Крыма.

Операционными временными единицами исследования в работе выступают границы циркуляционных эпох и периодов Северного полушария, выявленные Б.Л. Дзердзеевским с соавторами при типизации элементарных циркуляционных механизмов [16].

Таблица 1

Характеристика выбранных ландшафтных контуров равнинного Крыма [15]

Ландшафтный уровень	Ландшафтная зона	Ландшафтный пояс / ландшафтный ярус	Ландшафт
Гидроморфный	Низменные недренированные и слабодренированные аккумулятивные и денудационные равнины с типчаково-ковыльными, полынно-типчаковыми и полынно-житняковыми степями в комплексе с галофитными степями и лугами	Пояс прибрежных недренированных низменностей, пляжей и кос с галофитными лугами, солончаками и сообществами псаммофитов	1. Аккумулятивные недренированные низменности с солончаками и галофитными лугами
		Пояс аккумулятивных и денудационных недренированных и слабодренированных низменностей с полынно-типчаковыми, полынно-житняковыми и ковыльно-типчаковыми степями	11. Аккумулятивные плоские слабодренированные равнины с полынно-житняковыми и ковыльно-типчаковыми степями
		Пояс аккумулятивных и денудационных слабодренированных равнин с ковыльно-типчаковыми и полынно-типчаковыми степями	14. Аккумулятивные плоские слабодренированные равнины с бедно-разнотравными ковыльно-типчаковыми и полынно-типчаковыми степями
		Пояс аккумулятивных дренированных и слабодренированных низменностей с ковыльно-типчаковыми степями в комплексе с ковыльно-разнотравными степями	19. Аккумулятивные дренированные слабоболнистые равнины с ковыльно-разнотравными степями в комплексе с ковыльно-типчаковыми степями
Плакорный	Типичные ковыльно-типчаковые и бедно-разнотравно-ковыльно-типчаковые степи в комплексе с петрофитными и кустарниковыми степями	Верхний денудационный ярус ковыльно-типчаковых, петрофитных и кустарниковых степей	22. Структурные денудационные водораздельные плато с ковыльно-типчаковыми и петрофитными степями
		Нижний денудационно-аккумулятивный ярус с ковыльно-типчаковыми, кустарниково-разнотравными и петрофитными степями	31. Структурные пологонаклонные денудационно-аккумулятивные равнины с ковыльно-типчаковыми степями

В типизации выделяется 41 элементарный циркуляционный механизм (ЭЦМ), которые различаются между собой направлением и количеством одновременных арктических вторжений (блокирующих процессов) и выходов южных циклонов на полушарии. С определенным типом ЭЦМ в каждом районе связаны характерные для этого типа ЭЦМ погодные (синоптические) условия с соответствующими метеорологическими показателями. Именно это позволяет на основании типизации циркуляционных механизмов анализировать влияние циркуляции атмосферы на формирование полей атмосферных осадков.

По направлению перемещения барических образований на Северном полушарии ЭЦМ объединены в 4 группы циркуляции [16]: зональную, нарушения зональности, меридиональную северную и меридиональ-

ную южную. Каждый ЭЦМ длится от одного до нескольких дней. Смена одного ЭЦМ другим с 1 января 1899 г. фиксируется в Календаре последовательной смены ЭЦМ [17].

В результате анализа отклонений суммарной годовой продолжительности групп циркуляции были выявлены длительные (в несколько десятилетий) периоды положительных аномалий продолжительности какой-либо группы циркуляции [16]. Эти периоды получили название циркуляционных эпох.

С 1899 г. на Северном полушарии сменились три циркуляционные эпохи (табл. 2). В работе меридиональная северная циркуляционная эпоха не рассматривалась, что связано со слабым развитием сети метеонаблюдений и сильной неоднородностью данных, не позволивших получить достоверные модели поступления осадков.

Таблица 2

Границы циркуляционных эпох Северного полушария и периодов [16]

Циркуляционная эпоха	Годы	Периоды внутри эпох	Годы
Меридиональная северная	1899–1915		
Зональная	1916–1956		
Меридиональная южная	1957–наст. время	Одновременное увеличение продолжительности меридиональных северных и южных процессов	1957–1969
		Повышенная продолжительность зональных процессов	1970–1980
		Быстрый рост продолжительности меридиональных южных процессов	1981–1997
		Уменьшение продолжительности меридиональных южных процессов и рост меридиональных северных процессов	1998–2018

В качестве исходных материалов исследования динамики поступления атмосферных осадков были использованы картографические материалы, иллюстрирующие среднегодовые суммы атмосферных осадков, полученные для каждой циркуляционной эпохи и периода Северного полушария в предыдущей работе авторов [9]. На основе этих карт были рассчитаны статистические характеристики (среднее и стандартное отклонение) поступления атмосферных осадков по ландшафтным контурам. Далее для ключевых участков рассчитывались значения абсолютной и относительной факторной энтропии количества атмосферных осадков как показателя формирования стратегий развития или стабилизации ландшафтов на фоне изменения количества осадков. Расчет абсолютной энтропии осуществлялся по формуле Шеннона:

$$E(A) = - \sum \frac{f_i}{\sum f_i} \log_2 \frac{f_i}{\sum f_i}, \quad (1)$$

где f_i – количество точек заданного класса значений; $\sum f_i$ – количество точек в контуре.

Расчет относительной энтропии важен, поскольку позволяет привести значения абсолютной энтропии к величинам от 0 до 1. Относительная факторная энтропия рассчитывалась по формуле:

$$E = E(A) / n, \quad (2)$$

где n – количество выбранных классов.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 с использованием количественного фона цветом представлены карты поступления атмосферных осадков по ландшафтным контурам Крымского полуострова, а штриховкой – значения стандартного отклонения величины атмосферных осадков для каждого ландшафтного контура.

В зональную циркуляционную эпоху (далее – ЗЦЭ) для большей части ландшафтов, расположенных на территории равнинного Крыма, характерно среднемноголетнее количество осадков в пределах от 400 мм до 500 мм. При этом выделяются ландшафтные контура (в районе Гераклеийского полуострова, северной части Тарханкутского полуострова и вдоль побережья в северной части Керченского полуострова), где в среднем за год выпадает менее 400 мм осадков.

В первом периоде меридиональной южной циркуляционной эпохи (далее – первый период МЮЦЭ) на Крымском полуострове наблюдается рост среднегодового количества выпадающих осадков. На большей части равнинного Крыма, на Керченском полуострове среднегодовое количество осадков составляет от 400 до 500 мм.

Во втором периоде меридиональной южной циркуляционной эпохи (далее – второй период МЮЦЭ) наблюдается незначительное уменьшение среднегодового количества осадков на территории всего полуострова. На территории гидроморфного и плакорного ландшафтных уровней в среднем в год выпадает от 400 до 500 мм осадков.

В третьем периоде меридиональной южной циркуляционной эпохи (далее – третий период МЮЦЭ) наблюдается незначительный рост среднегодового количества выпадающих осадков в пределах горного Крыма. Низкогорный ландшафтный уровень на северном макросклоне характеризуется значениями осадков от 400 мм до 700 мм в год. Ландшафты южного макросклона Крымских гор находятся в диапазоне выпадения 500–600 мм осадков в год. В среднегорье наблюдается сглаживание в различиях между ландшафтными контурами по выпадению среднегодового количества осадков. Всего несколько ландшафтных контуров имеют значения более 1000 мм.

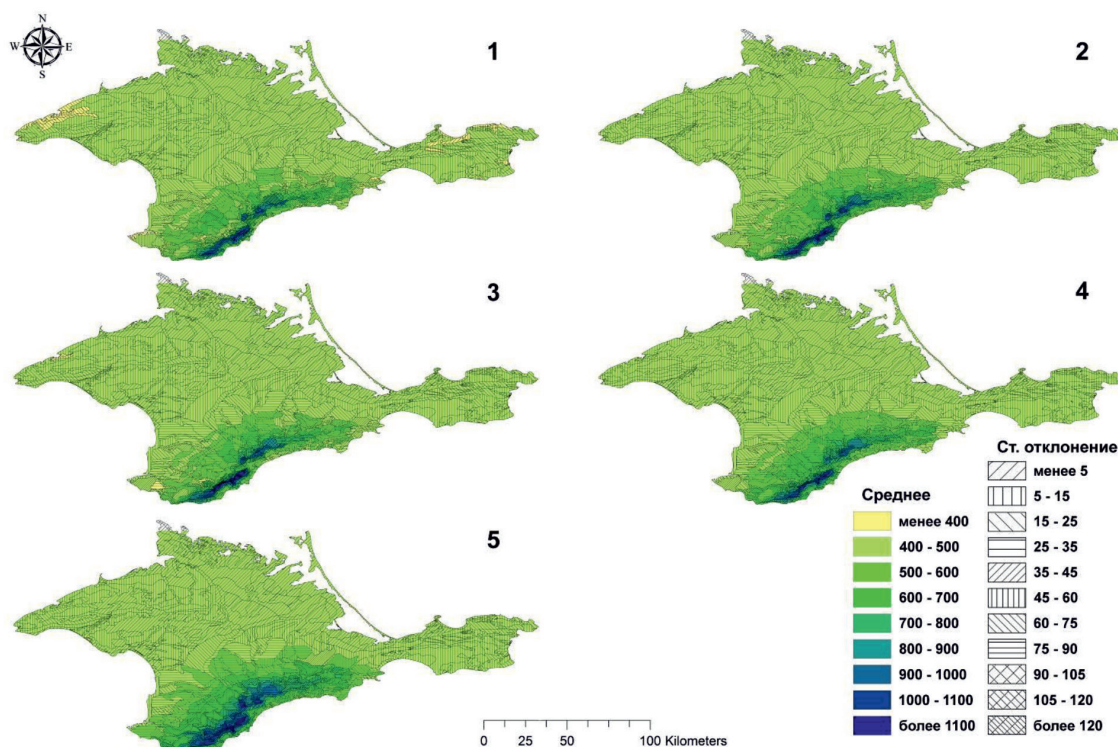


Рис. 1. Среднеголетние значения количества осадков на Крымском полуострове и их стандартное отклонение по ландшафтным контурам в границах циркуляционных эпох и периодов Северного полушария: 1) зональная циркуляционная эпоха (1916–1956 гг.); 2) первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи (1957–1969 гг.); 3) второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи (1970–1980 гг.); 4) третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи (1981–1997 гг.); 5) четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи (1998–2013 гг.)

Четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи (далее – четвертый период МЮЦЭ) характеризуется значительным ростом количества выпадающих осадков на территории Крымского полуострова. В пределах плакорного ландшафтного уровня, так же как и в предыдущий период, преобладают значения от 400 мм до 500 мм осадков в год.

Рассмотрим динамику значений стандартного отклонения (рис. 1) среднегодового количества осадков в пределах ландшафтных контуров по циркуляционным эпохам и периодам. В ЗЦЭ для большинства ландшафтов равнинного Крыма (гидроморфный и плакорный ландшафтные уровни) характерны низкие значения стандартного отклонения. При этом ландшафты гидроморфного ландшафтного уровня в большинстве своем имеют значения стандартного отклонения менее 5 мм. Для первого периода МЮЦЭ в целом на Крымском полуострове наблюдается уменьшение значений стандартно-

го отклонения. Второй период МЮЦЭ характеризуется увеличением стандартного отклонения для ландшафтов центральной части равнинного Крыма до 15 мм. В третьем периоде МЮЦЭ отмечается продолжение уменьшения значений стандартного отклонения по всей территории Крымского полуострова. Практически на всей территории гидроморфного ландшафтного уровня значения стандартного отклонения не превышают 5 мм, на территории плакорного ландшафтного уровня – 15 мм. Четвертый период МЮЦЭ характеризуется увеличением значений стандартного отклонения в равнинном Крыму, особенно в пределах плакорного ландшафтного уровня до 15 мм в год.

Рассмотрим динамику количества осадков по основным типам ландшафтов равнинного Крыма (рис. 2, 3).

В первую очередь обращают на себя внимание рост количества осадков в направлении от побережья к центру полуострова

и значительные различия между количеством осадков гидроморфного и плакорного ландшафтного уровней – на территории плакорного ландшафтного уровня выпадает в среднем на 100 мм больше атмосферных осадков, чем на территории гидроморфного ландшафтного уровня. Кроме того, следует отметить синхронность в динамике количества осадков для рассматриваемых ключевых участков до третьего периода МЮЦЭ. При смене зональной циркуляционной эпохи первым периодом МЮЦЭ наблюдается рост значений количества осадков во всех рассматриваемых контурах. Во втором периоде МЮЦЭ происходит снижение количества осадков и далее – рост до третьего периода МЮЦЭ, который продолжается и в четвертом периоде МЮЦЭ в пределах плакорного ландшафтного уровня. В пределах гидроморфного ландшафтного уровня четвертый период МЮЦЭ характеризуется снижением количества атмосферных осадков.

Значения стандартного отклонения также изменяются практически синхронно в пределах ландшафтных уровней, за исключением ландшафтного контура 1. Так, в ЗЦЭ на территории гидроморфного ландшафтного уровня происходят снижение значений стандартного отклонения, его рост во второй период МЮЦЭ и дальнейшее снижение до четвертого периода МЮЦЭ, который характеризуется минимальными значениями стандартного отклонения за весь период исследований. Различия между динамикой заключаются лишь в значениях амплитуд изменений по ландшафтным контурам. Особенность динамики значений стандартного отклонения у ландшафтного контура 1 заключается в резком и значительном росте значений стандартного отклонения в четвертый период МЮЦЭ на фоне снижения значений во всех рассматриваемых контурах гидроморфного ландшафтного уровня в этот период.

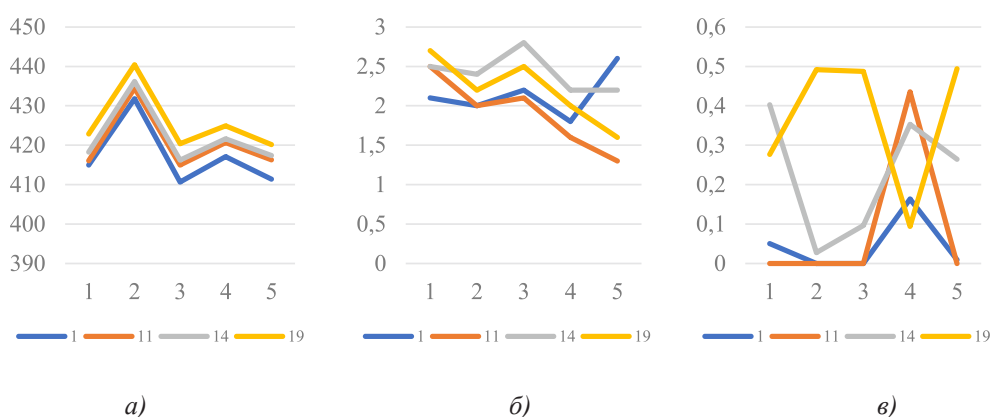


Рис. 2. Динамика среднегодового количества, мм (а), стандартного отклонения, мм (б) и факторной энтропии осадков (в) на территории гидроморфных ландшафтов по циркуляционным эпохам и периодам. Описания циркуляционных эпох и периодов (1–5) представлены на рис. 2

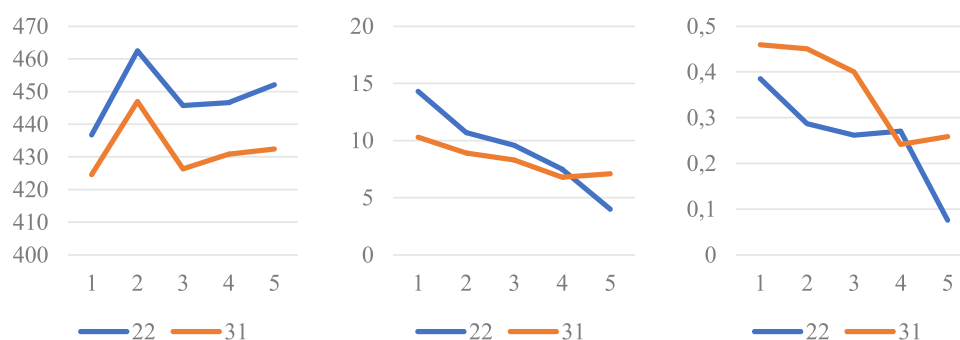


Рис. 3. Динамика среднегодового количества, мм (а), стандартного отклонения, мм (б) и факторной энтропии осадков (в) на территории плакорных ландшафтов по циркуляционным эпохам и периодам. Описания циркуляционных эпох и периодов (1–5) представлены на рис. 2

На плакорном ландшафтном уровне наблюдается постоянное снижение значений стандартного отклонения на протяжении всего периода исследования. При этом следует отметить значительное превышение значений стандартного отклонения на плакорном ландшафтном уровне по сравнению с гидроморфным ландшафтным уровнем, что объясняется более сложной геоморфологической структурой территории.

Динамика значений факторной энтропии характеризуется отсутствием синхронности по рассматриваемым ключевым участкам. Так, контур 1 характеризуется снижением значений факторной энтропии до второго периода МЮЦЭ, во время которого значения относительной факторной энтропии становятся равными нулю. Далее происходят незначительный рост значений факторной энтропии в третий период МЮЦЭ и обратное ее снижение практически до нуля в четвертый период МЮЦЭ. Такие изменения факторной энтропии даже на фоне значений стандартного отклонения, которое проявляется, по всей видимости, на периферии ландшафтного контура, позволяют сделать заключение о стабилизации ядра рассматриваемого ландшафта.

Динамика значений факторной энтропии в пределах ландшафтных контуров 11 и 14 иллюстрирует синхронность направления изменений по сравнению с контуром 1, однако амплитуда снижения значений факторной энтропии в первый период МЮЦЭ и ее роста в третий период МЮЦЭ значительно больше по сравнению с контуром 1. Кроме того, для контура 14 характерны значительно большие значения факторной энтропии по сравнению с 1-м и 11-м контурами, а также отсутствие значений, равных нулю, что закономерно и связано с усложнением текстуры ландшафтного рисунка на территории гидроморфного ландшафтного уровня в направлении к центру полуострова. Динамика значений факторной энтропии в контуре 19 характеризуется зеркальной противоположностью по сравнению с рассмотренными контурами. Так, при смене ЗЦЭ первым периодом МЮЦЭ наблюдается рост значений факторной энтропии с последующим ее снижением до третьего периода МЮЦЭ и значительным ростом в четвертый период МЮЦЭ. Таким образом, можно говорить о том, что ландшафтные контуры 11 и 14 характеризуются формированием стратегии стабилизации, а ландшафтный контур 19 – стратегии развития. Для плакорного ландшафтного уровня

характерно снижение значений факторной энтропии до третьего периода МЮЦЭ. В четвертом периоде МЮЦЭ наблюдаются рост значений факторной энтропии в контуре 31, что на фоне роста стандартного отклонения говорит о формировании стратегии развития, и значительное снижение значений факторной энтропии в контуре 22, что на фоне снижения значений стандартного отклонения позволяет делать вывод о формировании стратегии стабилизации.

Заключение

Таким образом, на основе пространственных моделей количества осадков в Крыму, рассчитанных для каждой циркуляционной модели и периода Северного полушария, были рассчитаны значения среднегодового количества осадков и их стандартного отклонения для каждого ландшафтного контура равнинного Крыма. Выявлены закономерности их пространственно-временной дифференциации. Показано, что для всех ландшафтов Крымского полуострова характерно увеличение количества атмосферных осадков при неоднородности изменения величин стандартного отклонения.

Для основных типов ландшафтов равнинного Крыма показаны пространственное распределение и изменчивость среднегодовых значений количества осадков по циркуляционным эпохам и периодам, стандартного отклонения температуры воздуха и факторной энтропии. В равнинном Крыму в пределах ландшафтов гидроморфного ландшафтного уровня после ЗЦЭ наблюдается резкий рост среднегодового значения количества осадков в первом периоде МЮЦЭ, который во втором периоде МЮЦЭ сменяется значительным снижением, незначительным ростом в третьем периоде МЮЦЭ и снижением в четвертом периоде МЮЦЭ. В пределах плакорного ландшафтного уровня наблюдается похожая картина, за исключением того, что в третьем и четвертом периодах МЮЦЭ наблюдается рост количества выпадающих осадков.

Анализ стандартного отклонения и факторной энтропии для выбранных ключевых участков равнинного Крыма позволяет утверждать, что в пределах гидроморфного ландшафтного уровня превалирует стратегия стабилизации (контуры 1, 11, 14), и только в одном контуре (19) – стратегия развития. В пределах плакорного ландшафтного уровня наблюдается стратегия как развития (контур 22), так и стабилизации (контур 31).

Список литературы / References

1. Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects: Working group II contribution to the IPCC's Fifth Assessment Report / Eds: V.R. Barros, C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, L.L. White. – Cambridge, United Kingdom; New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2014. 688 p.
2. An indicator-based report: Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. Copenhagen, Denmark: European Environmental Agency, 2017. Chap. 3. 419 p.
3. Global warming of 1.5°C: IPCC special report. – The Intergovernmental Panel of Climate Change, 2018: site. [Electronic resource]. URL: <https://www.ipcc.ch/sr15/> (date of access: 10.08.2021).
4. Лемешко Н.А., Евстигнеев В.П., Наумова В.А. Изменения температуры воздуха на Азово-Черноморском побережье и на полуострове Крым // Вестник Санкт-Петербургского университета, Серия география. 2014. Т. 2014. № 4. С. 131–143.
5. Lemesko N.A., Evstigneev V.P., Naumova V.A. Air temperature changes on the Azov-black sea coast and the Crimea peninsula // Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta, Seriya Geologiya i Geografiya. 2014. V. 2014. № 4. P. 131–143. (in Russian).
6. Кононова Н.К. Циркуляция атмосферы в Европейском секторе Северного полушария в XXI веке и колебания температуры в Крыму // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10. Вып. 1. С. 633–639.
7. Kononova N.K. Atmospheric circulation in the European sector of the Northern hemisphere in the XXI century and temperature fluctuations in Crimea // Geopolitika i ekogeodinamika regionov. 2014. Vol. 10. Is. 1. P. 633–639 (in Russian).
8. Федоров В.М., Горбунов Р.В., Горбунова Т.Ю., Кононова Н.К. Многолетняя изменчивость температуры воздуха на Крымском полуострове // География и природные ресурсы. 2017. Т. 38. Вып. 1. С. 86–92.
9. Fedorov V.M., Gorbunov R.V., Gorbunova T.Yu., Kononova N.K. Long-term air temperature variability on the Crimean Peninsula // Geography and Natural Resources. 2017. Vol. 38. Is. 1. P. 86–92. (in Russian).
10. Вышкваркова Е.В., Воскресенская Е.Н. Пространственное распределение экстремальных осадков на территории Крымского полуострова // Системы контроля окружающей среды. 2014. № 20. С. 136–139.
11. Vyshkvarkova E.V., Voskresenskaya E.N. The spatial distribution of extreme precipitation in the territory of the Crimean Peninsula // Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy. 2014. Vol. 20. P. 136–139 (in Russian).
12. Нестеренко В.П. Закономерности формирования климатических изменений и их прогноз на территории Крыма // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2016. № 18 (239). С. 115–122.
13. Nesterenko V.P. Regularities of climatic changes formation and their forecast on the territory of Crimea // Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye nauki. 2016. Vol. 18. P. 115–122 (in Russian).
14. Gorbunov R., Gorbunova T., Kononova N., Priymak A., Salnikov A., Drygval A., Lebedev Ya. Spatiotemporal aspects of interannual changes precipitation in the Crimea. Journal of Arid Environments. 2020. Vol. 183. P. 104280.
15. Петлін В.М. Стратегія ландшафту. Львів: Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2007. 288 с.
16. Трансформация ландшафтно-экологических процессов в Крыму в XX – начале XXI века / под ред. д.г.н., проф. В.А. Бокова. Симферополь: ДОЛЯ, 2010. 304 с.
17. Transformation of landscape-ecological processes in Crimea in the XX – beginning of XXI century / pod red. d.g.n., prof. V.A. Bokova. Simferopol': DOLYA, 2010. 304 p. (in Russian).
18. Трансформация водного баланса в Крыму в XX веке – начале XXI века / под ред. д.г.н., проф. В.А. Бокова. Симферополь: Крымский научный центр, 2011. 27 с.
19. Transformation of water balance in the Crimea in the XX century – the beginning of XXI century / pod red. d.g.n., prof. V.A. Bokova. Simferopol': Krymskiy nauchnyy tsentr, 2011. 27 p. (in Russian).
20. Зуев А.В., Летухова В.Ю., Зуева Е.А. Климатические изменения как фактор трансформации растительного покрова на примере Карадагского ландшафтно-экологического стационара // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН. 2020. Вып. 1 (13). С. 77–98.
21. Zuev A.V., Letukhova V.JU., Zueva E.A. Climate change as a factor of the vegetation transformation on the example of the Karadag landscape-ecological station // Trudy Karadagskoy nauchnoy stantsii im. T.I. Vyazemskogo – prirodnoy zapovednika RAN. 2020. Vol. 1 (13). P. 77–98 (in Russian).
22. Тимченко З.В. Гидрография и гидрология рек Крыма. Симферополь: ДОЛЯ, 2010. 260 с.
23. Timchenko Z.V. Hydrography and hydrology of Crimean rivers. Simferopol': DOLYA, 2010. 260 p. (in Russian).
24. Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий / под ред. Е.А. Позаченюк. Симферополь: Бизнес-Информ, 2009. 672 с.
25. Modern landscapes of Crimea and adjacent water areas / pod red. Ye.A. Pozachenyuk. Simferopol': Biznes-Inform, 2009. 672 p. (in Russian).
26. Дзердзеевский Б.Л., Курганская В.М., Витвицкая З.М. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов // Тр. н.-и. учреждений Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Сер. 2. Синоптическая метеорология. М.: Гидрометиздат. 1946. Вып. 21. 80 с.
27. Dzerdzevsky B.L., Kurganskaya V.M., Vitvitskaya Z.M. Typification of circulation mechanisms in the Northern hemisphere and characteristics of synoptic seasons // Tr. n.-i. uchrezhdeniy Gl. upr. gidrometeorol. sluzhby pri Sovete Ministrov SSSR. Ser. 2. Sinopticheskaya meteorologiya. M.: Gidrometizdat. 1946. Vol. 21. 80 p. (in Russian).
28. Данные. Колебания циркуляции атмосферы северного полушария в XX – начале XXI века. [Электронный ресурс]. URL: <https://atmospheric-circulation.ru/datas/> (дата обращения: 17.08.2021).
29. Data. Fluctuations of atmospheric circulation in the Northern Hemisphere XX – early XXI century [Electronic resource]. URL: <https://atmospheric-circulation.ru/datas/> (date of access: 17.08.2021) (in Russian).

УДК 502.53

ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ НА АККУМУЛЯТИВНОМ МОРСКОМ БЕРЕГУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНИРОВАННОГО ПОДХОДА НА ПРИМЕРЕ КУРШСКОЙ КОСЫ

^{1,2}Данченков А.Р., ²Белов Н.С.¹*Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва, e-mail: aldanchenkov@mail.ru;*²*Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград*

Представлены результаты оценки потенциала возникновения неблагоприятных эколого-геоморфологических процессов на аккумулятивном берегу бесприливного моря, связанных с абразией прибрежных дюн. Прибрежные дюны являются важнейшей частью защиты прибрежных территорий от штормовых нагонов и морского волнения. Песчаные пляжи выполняют защитную для авантюны функцию, определяя своим морфологическим строением потенциал их абразии при штормовых воздействиях. Оценка эколого-геоморфологических опасностей проведена с использованием оригинального комбинированного подхода, использующего краткосрочные спутниковые наблюдения оптического диапазона, а также результатов гидродинамического моделирования. Подход основан на анализе скорректированной к высоте волнения и уровню моря ширины пляжа, полученной со спутниковых изображений оптического диапазона. Выполнено сравнение результатов работы предложенного комбинированного подхода с результатами полевых измерений с использованием наземного лазерного сканирования, которое показало высокую степень сходимости. Для морского берега национального парка «Куршская коса» выполнен анализ горячих точек на авантуне с использованием пространственно-временной модели ширины пляжей. В качестве критерия выделения горячих точек была использована частота превышения критической для абразии авантюны ширины пляжей. В результате на авантуне Куршской косы был выявлен ряд проблемных участков высокого потенциала абразии авантюны, где может быть спрогнозировано развитие неблагоприятных эколого-геоморфологических процессов, связанных с интрузией морских вод. Для участков с наибольшим потенциалом эколого-геоморфологических опасностей выполнено гидрологическое моделирование подтопления территорий Куршской косы в условиях различных штормов, в том числе с учетом прогнозного роста уровня Балтийского моря.

Ключевые слова: прибрежные дюны, песчаные пляжи, спутниковые снимки, абразия, подтопление

ASSESSMENT OF ECO-GEOMORPHOLOGICAL HAZARDS ON THE ACCUMULATIVE COAST USING THE COMBINED APPROACH ON THE EXAMPLE OF THE CURONIAN SPIT

^{1,2}Danchenkov A.R., ²Belov N.S.¹*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: aldanchenkov@mail.ru;*²*Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad*

The paper presents the results of an assessment of the potential for the occurrence of unfavorable eco-geomorphological processes on the accumulative shore of a tideless sea, associated with the erosion of coastal dunes. Coastal dunes are an essential part of the protection of coastal areas from storm surges and waves. Sandy beaches perform a protective function for dunes, determining by their morphological structure their erosion potential under storm impacts. The ecological-geomorphological hazards were assessed using an original combined approach using short-term optical range satellite observations as well as hydrodynamic modeling results. The approach is based on the analysis of the beach width corrected to wave height and sea level obtained from satellite images of the optical range. The results of the proposed combined approach were compared with the results of field measurements using terrestrial laser scanning, which showed a high level of similarity. For the seashore of the Curonian Spit National Park, the analysis of hot spots on the foredune was carried out using the spatio-temporal model of the beach width. The frequency of exceeding the beach width critical for erosion of the foredune was used as the criterion of hot spots selection. As a result, on the Curonian Spit a number of problem areas of high erosion potential of the foredune, where the development of unfavorable eco-geomorphological processes, connected with intrusion of sea waters, may be predicted, have been identified. Hydrological modeling of flooding of the Curonian Spit territories under different storm conditions was performed for the areas with the highest potential of eco-geomorphological hazards, including the forecasted rise in the level of the Baltic Sea.

Keywords: coastal dunes, sandy beaches, satellite images, erosion, flooding

Известно, что на аккумулятивных песчаных берегах прибрежные дюны являются важнейшей частью защиты прибрежных территорий от штормовых нагонов и морского волнения. Прибрежные дюны распространены во всем мире, характеризуются широким разнообразием форм и размеров, зависящих от количества поступающего ма-

териала, преобладающего ветрового режима, степени покрытия растительностью [1]. Потенциал эрозии авантюны, в том числе, связан с шириной пляжа и его морфологией [2]. Связанные с пляжами в единой морфодинамической системе авантюны чувствительны к изменениям в бюджетах наносах и динамике пляжей, которые могут

приводить к увеличению интенсивности процессов эрозии и снижению берегозащитного потенциала [3]. Это делает пляжи важнейшими естественными средами, способными выполнять защитную и морфодинамическую функции для авантюны [4].

Исследование состояния пляжей с целью оценки потенциала абразии прибрежных дюн для разработки адекватной системы управления прибрежной зоной может быть выполнено на основе данных дистанционного зондирования, которые позволяют получить продолжительный в пространстве и времени массив данных. Такие данные позволяют исследовать ретроспективу изменений, в том числе на достаточно удаленных территориях [5]. В ряде работ использовались спутниковые изображения в оптическом спектре для получения информации о положении береговой линии с различных источников – Landsat [6], Sentinel [7], а также сочетание данных с различных источников, позволяющее увеличить временное разрешение [6].

Известно [8], что на практике понятие береговой линии намного сложнее, поскольку ее положение постоянно изменяется, что связано с рядом факторов, некоторыми из которых являются штормовые нагоны, волновой накат, а также приливы. Лишь несколько работ было посвящено корректировке положения береговых линий, полученных со спутниковых изображений на высоту прилива (например, [9]), еще меньшее учитывало волновой накат и штормовые нагоны в даты измерений [10]. В данной работе представлены результаты применения комбинированного подхода (учета волнового наката и уровня моря) для корректировки временного ряда ширины пляжа и оценки связанного с превышением критической ширины незатопленной части пляжа потенциала размыва дюнного вала, а также ассоциированных эколого-геоморфологических опасностей.

Цель исследования состояла в оценке потенциала размыва дюнного вала с применением комбинированного подхода на примере Куршской косы.

Материалы и методы исследования

1. Гидрометеорологические данные

Для получения сведений о высоте ветрового волнения на исследуемом участке акватории моря выполнено моделирование ветровых волн с использованием спектральной модели третьего поколения SWAN версии 41.20A. В качестве исходных данных

используются сила и направление ветра, полученные с метеостанции платформы Д-6, расположенной в 20 км от берега. Сведения об уровне Балтийского моря были получены с поста порта Пионерский, а частота измерений уровня моря составила 1 раз в 6 ч. Высота волнового наката на пляж была рассчитана по адаптированной для юго-восточной части Балтийского моря модели [11] (уравнение 1).

$$R = 1.29H_s \left(\tan \beta / \sqrt{\frac{H_s}{L}} \right)^{0.72}, \quad (1)$$

где H_s – высота значительных волн, м; L – длина волны, м; β – уклон пляжа.

Расчет ширины затопления пляжа (BI) выполнялся на основе полученной (уравнение 1) высоты наката волны (уравнение 2):

$$BI = (R + S) \cdot \operatorname{ctg}(\beta), \quad (2)$$

где R – высота волнового наката; S – высота уровня моря, м; β – уклон пляжа.

Уклоны пляжа были приняты по данным мониторинговых наблюдений методом наземного лазерного сканирования за динамикой авантюны Куршской косы, который проводился с 2014 г. [12].

2. Береговые линии по результатам дешифровки данных дистанционного зондирования

За период с 04.01.2016 по 27.12.2017 гг. (2 полных года) было обработано 76 спутниковых снимков Landsat 8/OLI и Sentinel 2a, с использованием которых было получено положение береговой линии. Пространственное разрешение составляет 15 м на пиксель для Landsat 8 и 10 м на пиксель для Sentinel. Для векторизации береговых линий на спутниковых снимках использовалась настольная ГИС ESRI ArcGIS 10.0. На спутниковых снимках визуально определялась и обозначалась позиция береговой линии (1 точка береговой линии на 12–19 м расстояния). В качестве базовой линии для расчета ширины пляжа по материалам геодезических измерений и детальных спутниковых изображений была подготовлена линия основания авантюны (эоловой подушки, подножия уступа размыва авантюны). Граница авантюны (базовая линия) была разделена на 10-метровые участки, всего 3720 участков. От базовой линии до каждой из береговых линий было определено минимальное расстояние, которое соответствует ширине надводной части пляжа в момент получения спутникового изображения (всего было более 280 000 измерений).

3. Корректировка ширины пляжа в соответствии с гидрометеорологическими факторами

Известно, что высота нагона, высота прилива и высота волнового наката являются основными факторами, влияющими на наблюдаемое положение береговой линии [8]. Согласно уравнению 2, основные гидродинамические факторы (высота волнового наката ($R_{2\%}$), высота нагона (S)) могут быть выражены в едином показателе ширины затопления пляжа (BI), который может быть получен для каждого сегмента береговой линии в каждую дату спутниковых наблюдений. Таким образом, наблюдаемая с использованием спутниковых снимков ширина незатопленной части пляжа может быть скорректирована на ширину затопления, которая была характерна для каждого сегмента берега в определенные моменты времени, что позволяет полу-

чить ширину незатопленной части пляжа, которая могла бы быть в рассматриваемый момент времени при отсутствии затопления, связанного с гидрометеорологической активностью. Общий принцип такой идеи приведен на рис. 1.

Результаты исследования и их обсуждение

1. Пространственно-временная модель ширины пляжей

С использованием данных ширины пляжа со спутниковых изображений совместно с результатами моделирования ширины затопления пляжей был получен массив данных по ширине незатопленной части пляжа. Массив данных был соорганизован в единую пространственно-временную модель, позволяющую оценивать вариативность ширины пляжа, связанную с морфолитодинамическими процессами (рис. 2).

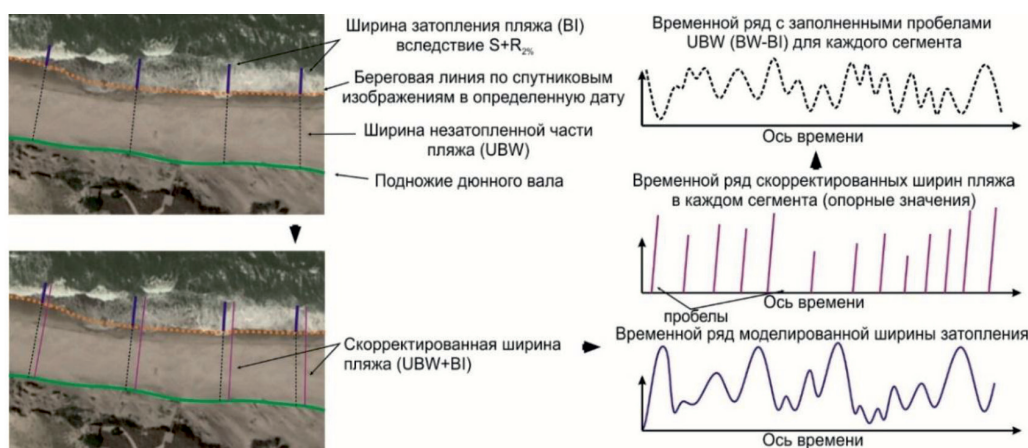


Рис. 1. Принцип корректировки ширины пляжа к ширине затопления (волновой накат и уровень моря)

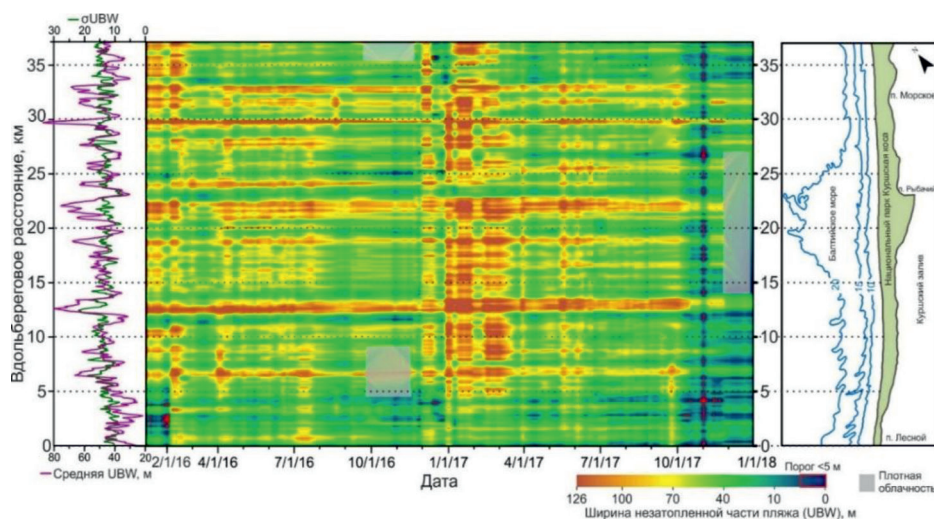


Рис. 2. Пространственно-временная схема ширины пляжей Курильской косы

По признаку ширины пляжей прослеживаются три характерные группы.

1. Стабильно широкие участки. Характеризуются относительной постоянностью ширины пляжей. Визуально представлены горизонтальными полосами, вытянутыми вдоль оси времени (например, на отметке 12,5 км, ряд участков на промежутке 15–24 км, вблизи 30-го км).

2. Вариабельные участки, где наблюдается чередование периодов с широкими и узкими пляжами.

3. Стабильно узкие участки. Характеризуются относительной постоянностью низкой ширины, без существенных изменений во времени. Визуально представлены темно-голубым полосами с темно-синими участками (первые 5 км). Вероятно, приурочены к области дефицита наносов.

Периодическое снижение ширины пляжей вызвано штормовыми событиями (например, январь 2016 г., январь 2017 г., февраль 2017 г.), в ходе которых динамичное снижение ширины пляжей сменяется последующим увеличением при снижении нагона и ветрового волнения.

2. Оценка точности предлагаемого подхода

Использование ряда теоретических и эмпирических предпосылок в данной работе (модели ветрового волнения, модели волнового наката), а также используемый подход по корректровке ширины пляжа по спутниковым наблюдениям и расчету ширины незатопленной части пляжа между спутниковыми измерениями обуславливают необходимость провести оценку точ-

ности. Оценка точности производилась на основе данных морфодинамических наблюдений за авандюной, результаты которых частично обсуждались [12]. В рамках морфодинамических наблюдений производятся регулярные наблюдения с использованием наземного лазерного сканирования, координированные с использованием GNSS в режиме RTK. В даты морфодинамических наблюдений на участках наблюдений (14-й и 42-й км Куршской косы) была измерена ширина незатопленной части пляжа (всего 493 измерения). Измеренная ширина пляжа была сравнена с расчетной в аналогичных сегментах и соответствующих датах (рис. 3).

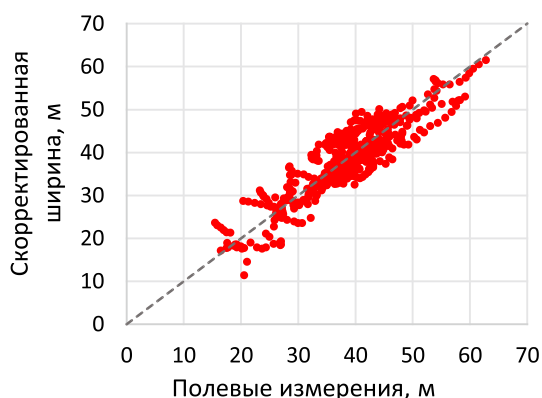
Таблица 1

Статистическая оценка точности определения ширины пляжей

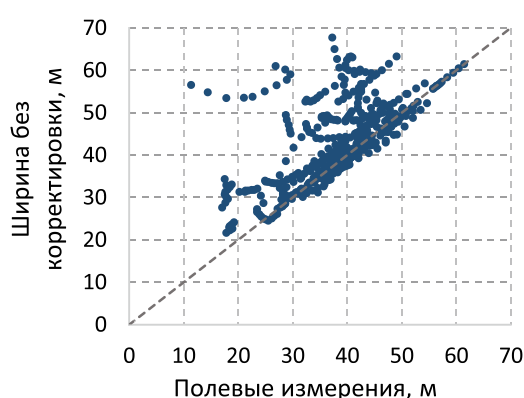
	Полевые измерения/ Скорректированная ширина	Полевые измерения/ Ширина без кор- ректировки
ME	0,12	–4,81
MAE	3,19	6,81
RMSE	3,97	9,41

Примечание: ME – средняя ошибка, MAE – средняя абсолютная ошибка, RMSE – среднеквадратическая ошибка.

По результатам проведенной корректровки ширины пляжа, полученной по спутниковым изображениям, а также проведенного расчета ширины незатопленной части пляжа, с использованием этих данных как исходных прослеживается очевидное увеличение точности получаемых результатов (табл. 1).



а)



б)

Рис. 3. (а) Соотношение между измеренной и скорректированной спутниковой шириной незатопленной части пляжа; (б) Соотношение между измеренной и спутниковой шириной незатопленной части пляжа без коррективки

В сравнении с ранее выполненными оценками точности получения ширины незатопленной части пляжа получены близкие значения по некорректированным значениям. В работе [13] по некорректированным значениям RMSE составляла 10 м, MAE – 7,5 м. После проведенной коррекции на высоту прилива были достигнуты RMSE 9,14 м, MAE 7,06 м против 3,97 м и 3,19 м соответственно, полученных в настоящей работе. В [6] после проведенных корректировок для пляжа была получена RMSE 6,6 м, что может быть связано с использованием более общей модели волнового наката, калиброванной для океанических гидродинамических условий.

3. Оценка горячих точек и ассоциированных эколого-геоморфологических опасностей

Горячие точки на авандюне выделялись по признаку превышения медианы частот наблюдений ширины пляжа менее 5 м. За исследуемый период наблюдения медиана составляла 0,25% (что соответствует 22 ч в год). Были выделены участки с су-

щественным превышением повторяемости критически низкой ширины пляжа, являющиеся участками повышенной эколого-геоморфологической опасности. Это обусловлено тем, что абразия авандюн происходит при локальных превышениях подошвы дюн высотой нагона в совокупности с волновым накатом. Анализ позволил подтвердить существование зоны (№ 1) деградации авандюны на 13,5-м км Куршской косы, а также выявить участок (№ 2) на 15-м км косы. На данных участках возможны размыв авандюны и развитие неблагоприятных процессов, связанных с интрузией морских вод на территорию косы (рис. 4).

Для оценки потенциальной опасности для экосистем и инфраструктуры национального парка от вероятного прорыва тела дюнного вала был выполнен гидрологический анализ зон подтопления по методике hes-ras в условиях штормов различной повторяемости (ежегодной и 1 раз в 25 лет), а также при прогнозируемом росте регионального уровня моря (табл. 2).

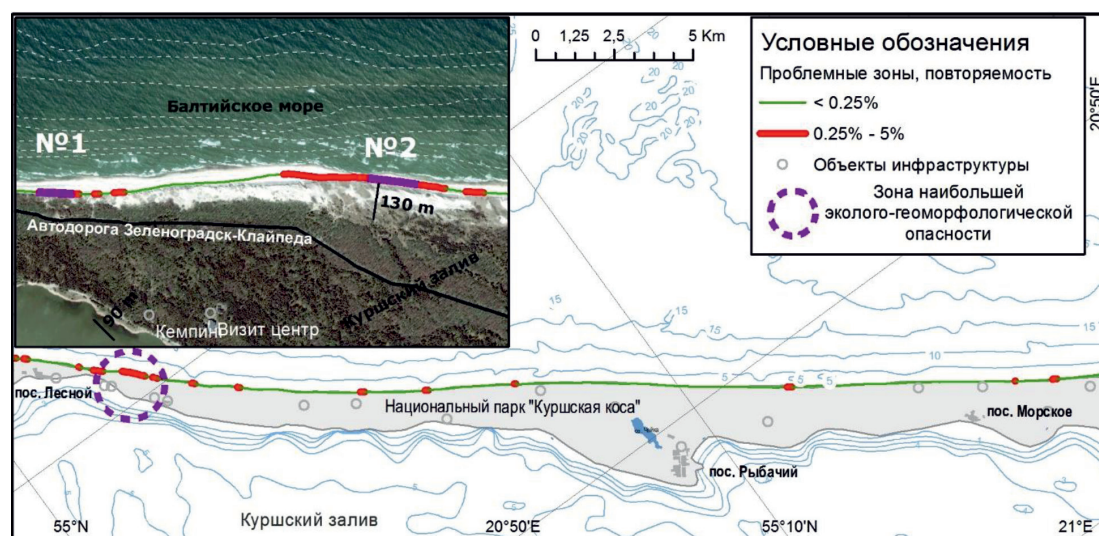


Рис. 4. Участки потенциального возникновения неблагоприятных эколого-геоморфологических процессов на берегу Куршской косы

Таблица 2

Параметры моделируемых штормов

Параметр	Шторм ежегодной повторяемости	Шторм ежегодной повторяемости в условиях роста уровня моря	Шторм повторяемости 1 раз в 25 лет
Высота значительных волн, м	3,7	3,7	4,7
Длина волны, м	113	113	141
Период волны, с	8,5	8,5	8,8
Высота штормового нагона	0,93	1,43	1,29
Продолжительность, ч (м)	18 (1080)	18 (1080)	14 (840)

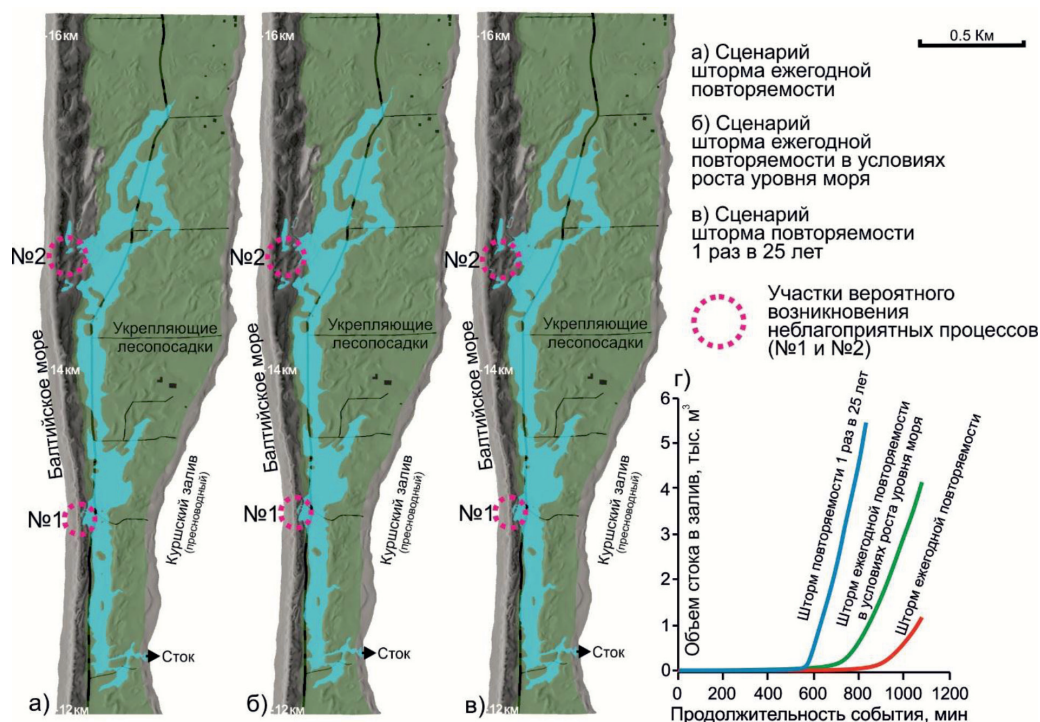


Рис. 5. Зоны подтопления территории Куршской косы в условиях различных штормов

Выполненное моделирование зон подтопления выявило наличие потенциальной опасности для внутренних территорий при нарушении целостности авантюны (рис. 5). Предполагаемая область затопления может составить в среднем 370 тыс. м² с глубиной затопления до 0,5 м, что может привести к нанесению ущерба при существующей социально-экономической и природной значимости данных территорий, занятых автодорогой и укрепляющими лесопосадками. Топографические условия территории [14] и естественный гравитационный дренаж [15] играли ключевую роль в формировании зон затопления. В рассмотренных сценариях сходство в площади зон затопления связано с потенциальным стоком морских вод в пресноводный Куршский залив (в объеме 1,18–5,5 тыс. м³).

Заключение

В работе представлен диагностический подход к выделению горячих точек на авантуне, который позволяет определять участки высокого потенциала возникновения неблагоприятных эколого-геоморфологических процессов. Используемый подход базируется на сведениях о положении береговой линии, полученных со спутниковых снимков. Данные береговые линии являют-

ся основой для определения ширины пляжа с учетом уровня и волнения моря. Предложенный подход показал высокую степень сходимости с данными полевых наблюдений. На основе полученных временных рядов ширины незатопленной части пляжа для сегментов берега национального парка «Куршская коса» был выполнен анализ горячих точек на авантуне. Повторяемость превышения критической ширины пляжа была использована как критерий выделения горячих, поскольку волновой размыв дюнного вала наблюдается при достижении волнением подошвы вала. Было подтверждено наличие участка развития неблагоприятных процессов на 13,5-м км Куршской косы, а также был выделен новый участок на 15-м км косы, где прогнозируются размыв авантюны и связанные с проникновением морских вод неблагоприятные процессы. Для оценки потенциального риска для особо охраняемых экосистем национального парка от вероятного прорыва тела авантюны было выполнено моделирование зон подтопления в условиях штормов различной повторяемости, а также в условиях прогнозируемого роста уровня моря. Анализ показал существенную опасность нарушения целостности вала в контексте социально-экономической, природной и культурной

значимости внутренних территорий Куршской косы, занятых автодорогой, укрепляющими лесопосадками. Топографические условия местности играли ключевую роль при формировании зон затопления. Низкое различие в площади зон затопления связано с потенциальным стоком морских вод в пресноводный Куршский залив.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Калининградской области (проект № 19-45-393001). Сбор и обработка данных по уровню моря выполнены при поддержке госзадания ИО РАН (тема № 0128-2021-0012).

Список литературы / References

1. Pye K. The dynamics and environmental context of aeolian sedimentary systems. London: Geological society special publication. 1993. 325 p.
2. Davidson-Arnott R.G.D. Conceptual model of the effects of sea level rise on sandy coasts. *Journal of Coastal Research*. 2005. Vol. 21. No. 6. P. 1166–1172.
3. Martínez M.L., Psuty N.P. Coastal dunes. Berlin: Springer Verlag. 2004. 384 p.
4. Prodder S., Russell P., Davidson M., Miles J., Scott T. Understanding and predicting the temporal variability of sediment grain size characteristics on high-energy beaches. *Marine Geology*. 2016. Vol. 376. p. 109–117.
5. Saleem A., Awange J.L. Coastline shift analysis in data deficient regions: Exploiting the high spatio-temporal resolution Sentinel-2 products. *Catena*. 2019. Vol. 179. P. 6–19.
6. Pardo-Pascual J.E., Sánchez-García E., Almonacid-Caballer J., Palomar-Vázquez J.M., Priego De Los Santos E., Fernández-Sarria A., Balaguer-Beser Á. Assessing the accuracy of automatically extracted shorelines on microtidal beaches from Landsat 7, Landsat 8 and Sentinel-2 imagery. *Remote Sensing*. 2018. Vol. 10. No. 2. P. 326.
7. Hagenaaars G., de Vries S., Luijendijk A.P., de Boer W.P., Reniers A.J. On the accuracy of automated shoreline detection derived from satellite imagery: A case study of the sand motor mega-scale nourishment. *Coastal Engineering*. 2018. Vol. 133. P. 113–125.
8. Boak E.H., Turner I.L. Shoreline definition and detection: a review. *Journal of coastal research*. 2005. Vol. 21. No. 4. P. 688–703.
9. Chen W.W., Chang H.K. Estimation of shoreline position and change from satellite images considering tidal variation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2009. Vol. 84. No. 1. P. 54–60.
10. Chang H.K., Chen W.W., Liou J.C. Shifting the waterlines of satellite images to the mean water shorelines considering wave runup, setup, and tidal variation. *Journal of Applied Remote Sensing*. 2015. Vol. 9. No. 1. P. 096004.
11. Paprotny D., Andrzejewski P., Terefenko P., Furmańczyk K. Application of empirical wave run-up formulas to the Polish Baltic Sea coast. *PloS one*. 2014. Vol. 9. No. 8. P. e105437.
12. Danchenkov A.R., Belov N.S. Morphological changes in the beach-foredune system caused by a series of storms. Terrestrial laser scanning evaluation. *Russian Journal of Earth Sciences*. 2019. Vol. 19. No. 4.
13. Liu Q., Trinder J.C., Turner I.L. Automatic super-resolution shoreline change monitoring using Landsat archival data: a case study at Narrabeen–Collaroy Beach, Australia. *Journal of Applied Remote Sensing*. 2017. Vol. 11. No. 1. P. 016036.
14. Didier D., Bandet M., Bernatchez P., Dumont D. Modelling coastal flood propagation under sea level rise: a case study in Maria, Eastern Canada. *Geosciences*. 2019. Vol. 9. No. 2. P. 76.
15. Gallien T.W., Sanders B.F., Flick R.E. Urban coastal flood prediction: Integrating wave overtopping, flood defenses and drainage. *Coastal Engineering*. 2014. Vol. 91. P. 18–28.

УДК 911.5/.9(430)

ОРГАНИЗАЦИЯ ТУРИСТСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА НАЦИОНАЛЬНЫХ ЛАНДШАФТНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ГЕРМАНИИ

Коньшев Е.В.

ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»,
Пермь, e-mail: konj@bk.ru

В статье рассмотрены особенности пространственного развития национальных ландшафтных территорий Германии и организация туристско-рекреационной деятельности на территории природных парков. Актуальность исследования обусловлена необходимостью научного обеспечения развития экологического туризма в России с учетом мирового опыта. В Германии, по мнению авторов, сложилась эффективная система развития туризма на охраняемых природных территориях, основанная на принципах устойчивого развития. Цель исследования заключается в обобщении опыта организации туристско-рекреационной деятельности на национальных ландшафтных территориях Германии, на примере природного парка «Альтмюльталь». Основные материалы исследования были собраны автором в ходе стажировки на кафедре туризма в Католическом университете Айхштетт-Ингольштадт (г. Айхштетт, Бавария) в 2019 г. Определение структуры национальных ландшафтных территорий осуществлялось на основе анализа статистики. Особенности организации туристско-рекреационной деятельности выявлялись с помощью анализа специализированных сайтов, научных статей, а также методом наблюдения, осуществляемого автором на территории природного парка «Альтмюльталь» с сентября по декабрь 2019 г. В основе организации туристско-рекреационной деятельности в природных парках Германии лежит маршрутный принцип, а сам природный парк является территорией, на которой осуществляется взаимодействие на принципах устойчивого развития природы, местных сообществ и посетителей. Туристские маршруты в природных парках Германии не локализованы в границах парка, а образуют сеть, соединяясь в протяженные туристские маршруты регионального и европейского уровня. Туристские маршруты разбиты на тематические участки. В местах пересечения туристских маршрутов формируются сервисные узлы, которые характеризуются хорошей транспортной доступностью и туристской привлекательностью. Результаты исследования будут полезны при совершенствовании туристско-рекреационной деятельности на территории природных парков Российской Федерации.

Ключевые слова: туристская деятельность, Германия, национальные ландшафтные территории, экологический туризм

THE ORGANIZATION OF TOURIST ACTIVITIES ON THE GERMAN NATIONAL LANDSCAPE TERRITORY

Konyshov E.V.

Perm State National Research University, Perm, e-mail: konj@bk.ru

The paper describes the features of the spatial development of the national landscape territories of Germany and the organization of tourist and recreational activities on the territory of natural parks. The relevance of the paper is due to the need for scientific support for the development of eco tourism in Russia, taking into account world experience. In Germany, according to the authors, there is an effective system of tourism development in protected natural areas based on the principles of sustainable development. The aim of the paper is to summarize the experience of organizing tourist and recreational activities in the national landscape territories of Germany, using the example of the Naturpark Altmühltal. The main research materials were collected by the author during an internship at the Department of Tourism at the Catholic University of Eichstätt-Ingolstadt (Eichstätt, Bavaria) in 2019. The structure determination of national landscape territories was carried out on the basis of an analysis of statistics. The peculiarities of the organization of tourist and recreational activities were identified through the analysis of specialized sites, scientific articles, as well as by the observation method carried out by the author on the territory of the Altmühltal Natural Park from September to December 2019. The organization of tourist and recreational activities in nature parks in Germany is based on the route principle, and the nature park itself is a territory where interaction is carried out on the principles of sustainable development of nature, local communities and visitors. Tourist routes in nature parks in Germany are not localized within the park, but form a network, connecting into long tourist routes of regional and European level. Tourist routes are divided into thematic sections. At the intersection of tourist routes, service nodes are formed, which are characterized by good transport accessibility and tourist attraction. The research results will be useful in improving tourist and recreational activities on the territory of Russia natural parks.

Keywords: tourist activities, German, national landscape territory, eco tourism

Экологический туризм является важным и востребованным направлением развития туризма в мире. Забота об окружающей среде, стремление сохранить природное и культурное наследование, следование принципам устойчивого развития являются новыми императивами, форми-

рующими потребность населения в экологическом туризме. В России развитие экологического туризма хотя и признается перспективным, но осложняется как историческими, так и иными аспектами [1, 2]. В свою очередь, в Германии сложилась работоспособная модель, позволяющая

сочетать охрану природы и организацию отдыха населения. Различные направления экологического туризма развиваются в Германии в системе национальных ландшафтных территорий, и прежде всего на территории природных парков. Природные парки имеют огромное значение для устойчивого развития туристско-рекреационного пространства современной Германии. Природные парки служат в качестве модели взаимодействия человека и природы. Они вносят своей работой существенный вклад в устойчивое региональное развитие, устойчивое развитие туризма, сохранение биоразнообразия и защиты климата. Более того, природные парки берут на себя в регионе роль импульсного генератора и являются партнером для устойчивого развития территории [3].

Цель исследования – обобщение опыта организации туристско-рекреационной деятельности на национальных ландшафтных территориях Германии, на примере природного парка «Альтмюльталь». На наш взгляд, опыт организации туристской деятельности в природных парках Германии будет полезен при совершенствовании развития экологического туризма в России. Конечно, невозможно просто скопировать чей-то опыт и создать универсальную модель развития экологического туризма с учетом целей устойчивого развития. В любом случае опыт каждой страны уникален. Но, изучая подходы других стран, адаптируя их к современным реалиям, можно избежать типичных ошибок, снизить риски и тем самым повысить эффективность организации экологического туризма в России.

Материалы и методы исследования

Методология исследования основывается на системно-структурном подходе и включает в себя анализ статистики, метод наблюдения, контент-анализ научной литературы и материалов, размещенных на официальных сайтах специализированных организаций. Основной материал для исследования получен в ходе стажировки на кафедре туризма в Католическом университете Айхштетт-Ингольштадт (г. Айхштетт, Бавария) под руководством профессора, доктора Гарольда Пехланера в 2019 г.

Результаты исследования и их обсуждение

Система национальных ландшафтных территорий Германии включает в себя на-

циональные парки, биосферные заповедники, природные парки и сертифицированные районы дикой природы. Каждая из охраняемых территорий имеет свои особенности, цели, задачи развития, структуру.

Наиболее жесткий режим охраны характерен для биосферных заповедников и районов дикой природы, в них запрещена любая хозяйственная деятельность, возведение капитальных зданий и сооружений, передвижение посторонних лиц. Как правило, это небольшие территории, для которых выполняется весьма специфическая и пространственно ограниченная защитная цель. В национальных парках хоть и разрешена туристско-рекреационная деятельность, однако она имеет ряд строгих ограничений и сохранение окружающей среды имеет явный приоритет над использованием. Также запрещена и хозяйственная деятельность, в том числе ведение сельского хозяйства. Природные парки охватывают, как правило, большие пространства, на которых постоянно проживает местное население, в них меньше запретов на ведение хозяйственной деятельности и больше ориентация на организацию туризма и рекреации.

Охраняемые национальные природные ландшафты достаточно равномерно покрывают территорию Германии и занимают порядка 40% ее площади (таблица). По общей площади охраняемых территорий выделяются федеральные земли: Свободное государство Бавария, Нижняя Саксония и Северный Рейн-Вестфалия. В основном охраняемые природные территории тяготеют к рубежам контрастности (долины рек, горные хребты), а также располагаются в непосредственной близости от крупных городов.

На долю природных парков приходится более 80% всей площади охраняемых территорий. Природные парки являются наиболее заметным компонентом немецкой системы охраны природы. Более того, они играют заметную роль в развитии туристско-рекреационной деятельности и жизни местных сообществ. Природные парки сочетают в себе функции по сохранению биологического разнообразия с укреплением и развитием сельских регионов и способствуют защите климата. Они предлагают привлекательные возможности для отдыха, способствуют укреплению здоровья населения, поддерживают устойчивый туризм и образование в интересах устойчивого развития.

Охраняемые национальные природные ландшафты Германии

	Федеральная земля	Национальные парки, ед/км ²	Биосферные заповедники, ед/км ²	Районы дикой природы, ед/км ²	Природные парки, ед/км ²	Общая площадь охраняемых национальных ландшафтов, км ²
1	Свободное государство Бавария	2/452	2/1650	0	17/22388	24490
2	Нижняя Саксония	2/3575	2/2968	0	14/13561	20104
3	Северный Рейн-Вестфалия	1/108	0	0	12/16990	17098
4	Баден-Вюртемберг	1/100	2/1485	0	7/12094,2	13679,2
5	Гессен	1/57	1/810	0	12/11764,3	12631,31
6	Шлезвиг-Гольштейн	1/4410	2/4437		6/2577	11424
7	Рейнланд-Пфальц	1/50	1/1790	0	8/8367	10207
8	Бранденбург	1/103	3/2219	0	11//7186	9588
9	Саксония-Анхальт	1/125	3/1838	0	6/5804	7767
10	Свободное государство Тюрингия	1/75	2/1147	0	5/4332	5554
11	Мекленбург–Передняя Померания	3/1139	3/999	0	7/3328	5466
12	Саар	1/50	1/361	0	1/2055	2466
13	Свободное государство Саксония	1/93	1/301	1	3/1953	2416
14	Берлин	0	0	0	1/748	748
15	Свободный ганзейский город Гамбург	1/138	1/117	0	0	255
16	Свободный ганзейский город Бремен	0	0	0	0	0

Природные парки были созданы для сохранения, развития и восстановления масштабных культурных ландшафтов, имеющих выдающуюся природоохранную ценность, исключительный характер и красоту. Каждый природный парк представляет собой уникальный ландшафт со своим особым внешним видом. Их работа основывается на Национальной стратегии по биологическому разнообразию, Немецкой стратегии устойчивого развития, Директиве ЕС по местообитаниям и птицам и Повестке дня ООН в области устойчивого развития на период до 2030 г. Природные парки объединены в Ассоциацию немецких природных парков (VDN), которая образует сеть природных парков в Германии. Идея создания природных парков принадлежит гамбургскому бизнесмену и защитнику природы доктору Альфреду Тёпферу, который в 1956 г. призвал разработать программу по открытию 25 природных парков. Он рассматривал природные парки как «большие территории», какими должны быть все «общественные, охраняемые зоны отдыха». В Германии насчитывается более

100 природных парков, которые занимают около 28% территории страны. В них проживает около 18 млн чел. [4]. Пик создания природных парков в Германии приходится на 1960-е гг., на территории прежней ФРГ. Вторая волна увеличения количества и площади природных парков приходится на 1990-е гг. После объединения Германии большая часть парков была открыта на территории бывшей ГДР (рисунок). В настоящее время открытие новых природных парков происходит гораздо реже, а основной акцент смещен на организацию их деятельности в соответствии с принципами устойчивого развития. Основные принципы создания и развития природных парков были сформулированы в 1959 г. Федеральным институтом пространственного развития [5] в своем докладе «Ландшафты, подходящие для выбора в качестве природных парков».

Так, при выборе места проектирования природного парка обращается внимание на три аспекта. Во-первых, проектируемые парки должны быть ориентированы на крупные города и пригороды и создаваться в тихих, красивых сельских районах.



Увеличение площади природных парков в Германии

Желательно, чтобы ландшафт был контрастным и имел высокое пейзажное разнообразие, например в холмистой или горной местности, с реками и озерами, а также покрытой лесами минимум наполовину. Во-вторых, в качестве основных благополучателей выступают городские жители, которые хотят реализовать свое право на доступный и интересный отдых от суеты, городского образа жизни в тишине и среди красивых ландшафтов. В-третьих, местные жители, проживающие в сельской местности на территории природного парка, должны получить возможность повысить уровень жизни за счет участия в предпринимательской деятельности, а также через развитие социальной инфраструктуры, улучшения благоустройства, поддержки и сохранения культурного и природного наследия. Уже в наши дни эти принципы были дополнены в соответствии с концепцией устойчивого развития. И поэтому сейчас природные парки должны стремиться обеспечить устойчивый туризм и долгосрочное экологическое землепользование.

В природном парке, наряду с природоохранной, наиболее развитой является туристско-рекреационная функция. Природные парки характеризуются высоким пейзажным разнообразием, насыщенностью туристскими доминантами. В них не только осуществляется отдых местных жителей, но и сформирована мощ-

ная туристская инфраструктура, сервис, что позволяет наблюдать высокий и постоянный туристский поток, в том числе и из других стран. Природные парки обладают хорошей транспортной доступностью, основными «коридорами» являются автомагистрали. Большая часть туристов прибывает в природные парки на личных автомобилях, хотя и есть достаточно удобная система железнодорожного сообщения. Несмотря на большие размеры природных парков, путешествия по ним весьма комфортные и продуманные. В каждом природном парке сформирована обширная сеть туристских маршрутов и экологических троп, которая обеспечивает целостность восприятия туристско-рекреационного пространства парка. Многие маршруты являются весьма протяженными и пересекают несколько природных парков, а ряд маршрутов относится к общеевропейским.

Подходы к формированию сети туристских маршрутов в России и Германии существенно отличаются. Если в России сеть туристских маршрутов тяготеет к местам слабо обжитым и наименее хозяйственно освоенным, к природным туристским объектам [6, 7], то в Германии они проложены по сельской местности с достаточно высокой плотностью населения. Кроме того, в России большинство маршрутов дискретны, замкнуты в границах отдельных природных парков, в то время как

в Германии сформирована целостная сеть туристских маршрутов и даже с выходом на другие страны. Так, например, в природном парке «Альтмюльталь» [8] туристские маршруты представлены в основном велосипедными, водными и пешеходными видами. Большинство маршрутов разбиты на тематические участки. В местах их пересечения формируются узловые объекты туристской инфраструктуры с высоким уровнем сервиса. Как правило, такие узлы возникают рядом с туристской доминантой (природный или культурно-исторический объект) и характеризуются хорошей транспортной доступностью. Пешеходные маршруты больше тяготеют к возвышенным участкам, обзорным точкам, проложены по пересеченной местности, вдоль границы леса и пустошей. Велосипедные маршруты пролегают в пойме реки, в наиболее плоской ее части, хотя и имеются радиальные маршруты с большим набором высоты.

Заключение

Природные парки являются важным компонентом системы устойчивого развития национальных охраняемых ландшафтов Германии. Они являются примером гармоничного взаимодействия природы и общества. На протяжении длительного времени в них формировался особый тип хозяйствования и культуры, основанный на учете природных особенностей и бережного отношения к окружающей среде. Природные парки характеризуются высокой концентрацией природных и культурно-исторических объектов, хорошей транспортной доступностью, развитой туристской инфраструктурой. Несмотря на высокую посещаемость, ущерб природной среде минимален, так как туристские потоки внутри парков хорошо структурированы благодаря развитой сети туристских маршрутов.

При планировании и развитии природных парков на территории России целесообразно опираться на опыт Германии в вопросах охраны природы и управления ландшафтом в условиях высокой антропогенной нагрузки. Опыт создания обширных сетей туристских троп с разметкой, информационными указателями также заслуживает внимания. Хорошо работает и система экологического просвещения и информирования населения. В природных парках предлагаются туры и экскурсии для групп посетителей и школьных классов, а также событийные мероприятия на различные темы для местных жителей и туристов.

Особое внимание следует уделить опыту Германии в реализации целей устойчивого развития, в частности в организации поддержки экономики местных сообществ. В природных парках приняты программы по производству и реализации продукции местных производителей, изделий местных ремесленников. Во многих парках все эти процессы четко координированы и реализуются под единым брендом. Такой подход позволяет укрепить экономическую мощь региона и увеличить его добавленную стоимость для сохранения самобытного культурного ландшафта.

Таким образом, природные парки – это территория, где осуществляется взаимодействие на принципах устойчивого развития природы, местных сообществ и посетителей. Природные парки ориентированы, с одной стороны, на сохранение и развитие ландшафтов и природы, а с другой стороны, они способствуют устойчивому региональному развитию и способствуют согласованию потребностей местных жителей в процессе их хозяйственной деятельности с требованиями сохранения ландшафта и природы.

Список литературы / References

1. Карпова Г.А., Ткачев В.А. Перспективные направления развития экологического туризма в России // Вестник Национальной академии туризма. 2019. № 2 (50). С. 15–16.
2. Karpova G.A., Tkachev V.A. Promising directions of development of ecological tourism in Russia // Bulletin of the National Academy of Tourism. 2019. No. 2 (50). P. 15–16 (in Russian).
3. Оборин М.С. Современная концепция развития экологического туризма в России // Сервис в России и за рубежом. 2020. Т. 14. № 4 (91). С. 22–32.
4. Oborin M.S. The modern concept of the development of ecological tourism in Russia // Service in Russia and abroad. 2020. Vol. 14. No. 4 (91). P. 22–32 (in Russian).
5. Атамас Е.В., Банзрагч М. Коммерциализации программ и продуктов национальных парков Германии // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользования: материалы VIII Международной научно-практической конференции кафедры управления проектами и программами. 2018. С. 195–201.
6. Atamas E.V., Banzragch M. Commercialization of programs and products of national parks in Germany // Modern problems of project management in the investment and construction sector and environmental management: materials of the VIII International scientific and practical conference of the Department of Project and Program Management. 2018. P. 195–201 (in Russian).
7. Официальный сайт ассоциации природных парков Германии [Электронный ресурс]. URL: <https://www.naturparke.de/> (дата обращения: 18.08.2021).
8. Official'nyj sajт associacii prirodnyh parkov Germanii [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.naturparke.de/> (data obrasheniya: 18.08.2021) (in Russian).
9. Официальный сайт Федерального института пространственного развития [Электронный ресурс]. URL: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Stadtentwicklung/stadtentwicklung_node.html (дата обращения: 18.08.2021).

Official'nyj sajт Federal'nogo instituta prostranstvennogo razvitiya [Elektronnyj resurs]. URL: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Stadtentwicklung/stadtentwicklung_node.html (data obrashcheniya: 18.08.2021) (in Russian).

6. Мышлявцева С.Э. Сеть туристских маршрутов и охраняемые природные территории в регионах Урала // Географический вестник. 2007. № 1–2 (5–6). С. 193–197.

Myshlyavtseva S.E. The network of tourist routes and protected natural areas in the regions of the Urals // Geographic Bulletin. 2007. No. 1–2 (5–6). P. 193–197 (in Russian).

7. Конышев Е.В., Колесова Ю.А., Кузнецова А.И., Шпенглер А.В., Веприкова А.А. Туристские маршруты как компонент туристско-рекреационного пространства Киров-

ской области // Успехи современного естествознания. 2021. № 7. С. 39–46.

Konyshev E.V., Kolesova Yu.A., Kuznetsova A.I., Spengler A.V., Veprikova A.A. Tourist routes as a component of the tourist and recreational space of the Kirov region // Successes of modern natural science. 2021. No. 7. P. 39–46 (in Russian).

8. Официальный сайт природного парка «Альтмюльталь»: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.naturpark-altmuehltal.de/> (дата обращения: 18.08.2021).

Official'nyj sajт prirodnogo parka «Al'tmyul'tal'»: [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.naturpark-altmuehltal.de/> (data obrashcheniya: 18.08.2021) (in Russian).

УДК 911.3:711.7(571.64)

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОПОРНОГО
ТРАНСПОРТНОГО КАРКАСА САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ
(ПРОСТРАНСТВЕННО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ АСПЕКТЫ)**^{1,2}Крылов П.М.¹ГОУ ВО МО «Московский государственный областной университет», Мытищи;²ОАО «Российский институт градостроительства и инвестиционного развития «Гипрогор»,
Москва, e-mail: pmkrylov@yandex.ru

Сахалинская область – уникальный по географическому положению регион России. Несмотря на транспортную изолированность, регион обладает всеми основными видами транспорта общего пользования. При высоком уровне инвестиционной привлекательности региональная транспортная система всё ещё находится в стадии формирования и не удовлетворяет запросы населения и хозяйства. Цель настоящей работы – рассмотрение основных направлений трансформации опорного транспортного каркаса Сахалинской области в связи с выполненной в 2018–2019 гг. работой по внесению изменений в Схему территориального планирования Сахалинской области, в которой принимал участие автор настоящей статьи. В основу пространственного развития Сахалинской области положены результаты комплексной оценки территории, в которой рассмотрены особенности современного использования территории, пофакторный анализ природных и техногенных условий, инженерно-геологических условий, планировочных ограничений, с целью изыскания территориальных ресурсов области для развития основных видов хозяйственной деятельности. По всем транспортным направлениям, в первую очередь на транспортных узлах, предусматривается организация multifunctional системы сервисного обслуживания, в том числе в составе проектируемых (г. Южно-Сахалинск, г. Корсаков) транспортно-логистических комплексов. Предлагаемые планировочные оси проходят через наиболее заселенные и развитые территории Сахалинской области. В зоне влияния Транс-сахалинского мультимодального транспортного коридора «Север – Юг» получит развитие формирующаяся Южно-Сахалинская агломерация. Планировочная организация территории Сахалинской области строится на основе предложенных Схемой приоритетных направлений устойчивого развития территории, к которым отнесены: продолжение процесса урбанизации на территории Сахалинской области в течение всего проектного периода; опережающее развитие территорий, находящихся в радиусе 1,5-часовой транспортной доступности от областного центра – города Южно-Сахалинск, с формированием в перспективе Южно-Сахалинской агломерации, в составе городов: Анивы, Корсакова, Долинска и других окружающих их населенных пунктов и городов Холмска, Невельска.

Ключевые слова: опорный транспортный каркас, Сахалинская область, транспортная система Сахалинской области, региональная транспортная система, территориальное планирование

**PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF THE SUPPORTING
TRANSPORT FRAME OF THE SAKHALIN REGION (SPATIAL PLANNING ASPECTS)**^{1,2}Krylov P.M.¹Moscow State Regional University, Mytishi;²Russian Institute of Urban Planning and Investment Development «Giprogor»,
Moscow, e-mail: pmkrylov@yandex.ru

The Sakhalin Region is a unique region of Russia in terms of its geographical location. Despite the transport isolation, the region has all the main types of public transport. With a high level of investment attractiveness, the regional transport system is still being formed and does not meet the needs of the population and the economy. The purpose of this work is to consider the main directions of transformation of the supporting transport frame of the Sakhalin region in connection with the work performed in 2018–2019. the work on making changes to the Territorial planning Scheme of the Sakhalin region, in which the author of this article took part. The spatial development of the Sakhalin region is based on the results of a comprehensive assessment of the territory, which considers the features of the modern use of the territory, a factor-by-factor analysis of natural and man-made conditions, engineering and geological conditions, planning restrictions, in order to find the territorial resources of the region for the development of the main types of economic activity. In all transport directions, primarily at transport hubs, it is planned to organize a multifunctional service system, including as part of the transport and logistics complexes being designed (Yuzhno-Sakhalinsk, Korsakov). The proposed planning axes pass through the most populated and developed territories of the Sakhalin region. The emerging Yuzhno-Sakhalinsk agglomeration will develop in the zone of influence of the Trans-Sakhalin multimodal transport corridor «North-South». The planning organization of the territory of the Sakhalin Region is based on the priority directions of sustainable development of the territory proposed by the Scheme, which include: continuation of the urbanization process in the territory of the Sakhalin region during the entire project period; advanced development of territories located within a radius of 1.5 hours of transport accessibility from the regional center – the city of Yuzhno-Sakhalinsk, with the formation in the future of the Yuzhno-Sakhalinsk agglomeration, consisting of the cities of Aniva, Korsakov, Dolinsk and other surrounding settlements and the cities of Kholmsk, Nevelsk.

Keywords: supporting transport framework, Sakhalin region, transport system of the Sakhalin region, regional transport system, territorial planning

Сахалинская область – один из быстро развивающихся субъектов ДФО, обладающий высокой инвестиционной привлекательностью [1]. При небольших долях площади территории (1,4%) и численности населения (около 8%) Дальнего Востока здесь производится около четверти суммарного ВРП региона, а произведенный на душу населения валовый региональный продукт (1628,3 тыс. руб.) превысил в 2014–2019 гг. средние показатели по региону и Российской Федерации в 3 и 4 раза соответственно [2].

Транспорт влияет на интенсивность производственной и непроизводственной деятельности районов и городов, поскольку она возрастает вдоль коммуникационных каналов и транспортных коридоров [3–5]. Роль транспорта в обеспечении устойчивого развития региона, нацеленного на его экономическую безопасность, сложно переоценить [6].

Сахалинская область характеризуется уникальным экономико-географическим положением [7, 8]. На территории области сформировалась локализованная транспортная система, отличительной особенностью которой, несмотря на островное положение, является наличие всех основных видов транспорта общего пользования [9]. Состояние транспортной инфраструктуры Сахалинской области значительно отстает от многих регионов России как европейской, так и азиатской части. А потенциальные возможности достаточно высоки, если учесть ввоз автомобилей в регион, активное освоение месторождений нефти и газа [10]. Современная сеть автомобильных дорог области носит незавершенный характер и не может обеспечить качественного автотранспортного обслуживания между городами и районами [10]. Автомобильные дороги Сахалинской области, за небольшим исключением, не соответствуют техническим нормам, что приводит к повышенному износу машин, увеличению затрат и повышению себестоимости перевозок; неудовлетворительное состояние дорог – одна из важнейших проблем региона [11]. В настоящее время для Сахалинской области характерна значительная территориальная дифференциация транспортного обслуживания и обеспеченности транспортной инфраструктурой. Наибольший уровень развития транспортного комплекса характерен для юга Сахалина, в то время как центральная и особенно северная часть острова, а также Курильские острова относятся к районам

с низким и крайне низким уровнем развития транспортной инфраструктуры [12]. Воздушный транспорт в Сахалинской области, в силу географического расположения, обеспечивает более 80–90% объема пассажирских перевозок за пределы региона. Наличие устойчивой связи острова с материком через железнодорожный переход создаст предпосылки к ускоренному экономическому и социальному развитию Сахалина, а также к возникновению новых транспортных узлов [13]. На перспективу предлагается строительство мостового перехода (или тоннеля). Предварительные результаты показывают возможность строительства мостового перехода I класса сейсмостойкости. Наиболее спокойным в сейсмическом отношении представляется створ «Новый» (м. Невельского – м. Лах) [14]. В 2020 г. прошло почти незамеченным важное событие в сфере российского железнодорожного транспорта: закончился длительный процесс перевода железнодорожной колеи острова Сахалин на общероссийский стандарт 1500 (1520) мм; теперь стандарты её технической организации и управления отныне соответствуют общероссийским [15].

Целью исследования настоящей работы является рассмотрение основных направлений трансформации опорного транспортного каркаса Сахалинской области в связи с выполненной в 2018–2019 гг. работой по внесению изменений в Схему территориального планирования Сахалинской области, в которой принимал участие автор настоящей статьи (Научно-исследовательская работа по внесению изменений в Схему территориального планирования Сахалинской области; государственный контракт: № 1-АРХ от 23.07.2018; заказчик: агентство архитектуры и градостроительства Сахалинской области.)

Материалы и методы исследования

В основе настоящего исследования лежат статистические и аналитические материалы, отражающие социально-экономическое развитие Сахалинской области и её отдельных муниципальных образований. Были использованы нормативно-правовые акты, а также стратегические и программные документы органов власти, предприятий и организаций.

Результаты исследования и их обсуждение

Современный планировочный каркас области сформировался на основе при-

родного каркаса, представленного гидрографическими осями: морскими побережьями Татарского пролива, залива Анива и Охотского моря и важнейшими реками, а также озерной сетью, горными долинами, системой вулканов. На основе природного каркаса сложился каркас расселения, образованный, прежде всего, местами исторического расселения людей вдоль западного и восточного морских побережий (в бухтах, заливах) островов, в долинах основных рек: Поронай, Тымь, Лютога, Найба и пр., на берегах крупных озер, в межгорных долинах.

Планировочный каркас области закреплён наличием ряда *транспортно-планировочных осей (транспортных коридоров)*, включающих сеть автомобильных дорог, железнодорожный, морской и воздушный транспорт.

В настоящее время основой планировочного каркаса о. Сахалин служит транспортный каркас, который образуют три стержневые транспортно-планировочные оси, объединяющие почти все планировочные центры и подцентры (центры городских округов). 1. Центральная (основная) транспортно-планировочная ось сформировалась вдоль автомобильной дороги регионального значения «Южно-Сахалинск – Оха» и железной дороги Южно-Сахалинск – Оха, в направлении: Корсаков – Анива – Южно-Сахалинск – Долинск – Макаров – Поронайск – Смирных – Тымовское – Александровск-Сахалинский (ответвление) – Ноглики – Оха. Основная транспортно-планировочная ось пересекает территорию области с севера на юг. 2. Западная транспортно-планировочная ось сформировалась вдоль автомобильной дороги регионального значения «Невельск – Томари – Аэропорт Шахтёрск», по побережью Татарского пролива, в направлении: Невельск – Холмск – Томари – Красногорск – Углегорск – Шахтерск – Лесогорское – Бошняково. В южной части территории о. Сахалин в широтном направлении проходит федеральная трасса «Холмск – Южно-Сахалинск – Корсаков», объединяющая первые две основные транспортно-планировочные оси. Остальные транспортно-планировочные оси представлены второстепенными автодорогами (автодорогами местного значения).

Центрами и подцентрами планировочного каркаса являются городские населенные пункты – центры муниципальных образований (МО). Основным центром планировочного каркаса о. Сахалин явля-

ется г. Южно-Сахалинск. Планировочными центрами каркаса являются населенные пункты, центры МО: города Корсаков, Невельск, Холмск, Долинск, Поронайск, Углегорск, Александров-Сахалинский, пгт Ноглики, г. Оха, пгт Южно-Курильск. Эти населенные пункты расположены в местах пересечения основных и второстепенных планировочных осей, обладают развивающейся инфраструктурой, значительной численностью населения, могут выполнять функции центров местных систем расселения и межрайонного обслуживания. Подцентрами планировочного каркаса являются городские населенные пункты, центры муниципальных образований с малой численностью населения, к ним относятся: пгт Смирных, пгт Тымовское, пгт Шахтерск, г. Макаров, г. Томари, г. Курильск, г. Северо-Курильск. В целом *Сахалинская область не имеет единого планировочного каркаса*. С Курильскими островами остров Сахалин связан морскими и воздушными линиями, регулярность которых на сегодняшний день зависит от погодных условий. По уровню территориальной структуры сети населенных пунктов в области выделяются агломерационные, линейные, линейно-очаговые и очаговые системы расселения.

В основу *перспективного пространственного развития* Сахалинской области положены результаты комплексной оценки территории, в которой рассмотрены особенности современного использования территории, пофакторный анализ природных и техногенных условий, инженерно-геологических условий, планировочных ограничений, с целью изыскания территориальных ресурсов области для развития основных видов хозяйственной деятельности. *Целью пространственного развития Сахалинской области является достижение рациональной планировочной организации территории*. При разработке перспективной пространственной структуры территории области Схемой предлагается упорядочение развития ее планировочных центров и осей, способствующих устойчивому развитию территории в целом. Главным направлением улучшения территориальной организации Сахалинской области рассматривается совершенствование ее опорного каркаса и планировочной структуры. Планировочный каркас определяет направления развития взаимоувязанных систем: расселения, транспортно-коммуникационной, природно-экологической, историко-культурной,

рекреационно-туристической, санаторно-курортной и социально-культурной системы обслуживания.

В качестве основы планировочной структуры Сахалинской области Схемой предлагается формирование и развитие системы каркасов: природно-экологического, расселенческого, экономического, составляющих ядро урбанизированного каркаса области.

Планировочная организация территории Сахалинской области строится на основе предложенных Схемой приоритетных направлений устойчивого развития территории, к которым отнесены: продолжение процесса урбанизации на территории Сахалинской области в течение всего проектного периода; опережающее развитие территорий, находящихся в радиусе 1,5-часовой транспортной доступности от областного центра – города Южно-Сахалинск, с формированием в перспективе Южно-Сахалинской агломерации, в составе городов Анивы, Корсакова, Долинска и других окружающих их населенных пунктов и городов Холмска, Невельска; стабилизация численности населения на большей части региона; выделение зоны частично-вахтового освоения за счет внутрирегиональной вахты в северной части территории области, при условии отсутствия проектирования новых населенных пунктов; формирование и развитие г. Южно-Сахалинска в качестве опорного города; г. Оха и пгт Ноглики в качестве опорных и базовых населенных пунктов – для обслуживания северных территорий; создание нового населенного пункта для строительства и дальнейшего обслуживания сухопутного авто-железнодорожного перехода через пролив Невельского в районе мыса Погиби; возможное придание с. Ильинское статуса поселка городского типа (в связи с размещением нового нефтегазохимического комплекса и предполагаемым ростом численности населения села).

В основе организации проектной планировочной структуры области Схемой рассматривается, прежде всего, природно-экологический каркас. Под природно-экологическим каркасом понимается система природных и экологически взаимосвязанных природных территорий, характеризующаяся двумя признаками: способностью поддерживать экологическое равновесие в регионе; защищённостью его природоохранными мерами, соответствующими техногенным нагрузкам на природу. Природно-ландшафтная составляющая

планировочной структуры предполагает формирование и развитие природно-экологического каркаса региона в целях обеспечения экологически устойчивого развития территории. *Природно-экологический каркас* Сахалинской области представляет собой сформировавшуюся систему непрерывных природных комплексов, особо охраняемых природных территорий и экологических коридоров вдоль наиболее крупных рек (Тынь, Пильтун, Поронай, Ныш, Лютога, Сусуя), включая водоохранные зоны и пойменные земли. Важной составляющей природно-экологического каркаса области являются основные рекреационные зоны, лесные массивы, луга, болота, речные долины. Природный каркас образует природоохранную и рекреационную подсистему Сахалинской области, которая станет определенным гарантом устойчивого развития области.

В качестве *перспективного каркаса расселения* Схемой рассматривается *система существующих и проектируемых расселенческих осей и центров расселения различного ранга*.

Можно выделить оси расселения первого ранга:

1) первая основная ось расселения, проходящая вдоль автомобильных дорог: Южно-Сахалинск – Корсаков, Южно-Сахалинск – Оха и железнодорожной линии Южно-Сахалинск – Поронайск – Смирных – Тымовское – Ноглики – Оха – Мооскальво;

2) вторая ось расселения, проходящая вдоль транспортного коридора меридионального направления в составе автомобильных дорог: Невельск – Томари – аэропорт Шахтерск, Шахтерск – Бошняково, Александров-Сахалинский – Виachtу и железнодорожной линии Шебунино – Невельск – Холмск – Томари – Ильинский;

3) третья ось расселения, проходящая вдоль проектируемой железнодорожной линии «Материк – о. Сахалин», с тоннельным (мостовым) переходом через пролив Невельского до Южно-Сахалинска через Погиби – Ноглики – Тымовское – Поронайск – Макаров – Долинск, пересекающая область с севера на юг.

Схемой территориального планирования предлагается развитие *южной части территории области*, в которой выделена *территория формирующейся Южно-Сахалинской агломерации*, в составе муниципальных образований: «Городской округ Долинский», «Анивский городской округ»,

«Корсаковский городской округ», Городской округ «Город Южно-Сахалинск», южная часть «Холмского городского округа» (до с. Яблочное) и северная часть «Невельского городского округа» (до г. Невельска). В ближнем поясе Южно-Сахалинской агломерации, которая вместе с г. Южно-Сахалинском формирует своего рода «ядро» планировочной структуры области, предлагается развитие транспортно-инженерной инфраструктуры, определены районы наиболее динамичного развития.

Экономический каркас формируется планировочными осями и центрами I и II ранга, к которым относятся: многофункциональные центры, промышленные центры, кластеры, индустриальные парки, центры инновационного развития, крупные объекты инженерно-транспортной инфраструктуры и т.д. Экономический каркас Сахалинской области включает существующие и перспективные производственные комплексы. Они являются «ядрами» – основой формирования экономических районов и подрайонов различной специализации, которая в значительной мере определяет приоритетный вид использования территории и развитость линейных элементов планировочного каркаса. На рассматриваемый период укрепление каркаса связано с развитием его основных существующих и проектируемых элементов. В качестве центрального элемента экономического каркаса Схемой рассматривается г. Южно-Сахалинск, кроме того, основными элементами каркаса Схемой предлагаются города Корсаков, Углегорск, Ноглики, Невельск, п. Шахтерск, пгт Южно-Курильск, с. Рошино, с. Ильинское, с. Таранай, с. Троицкое, с. Малокурильское, остров Уруп. К точечным элементам каркаса отнесены наиболее значимые объекты капитального строительства промышленности, транспорта, АПК и рекреационного комплекса. К площадным элементам каркаса отнесены территории опережающего социально-экономического развития (ТОСЭР), транспортно-логистические, промышленные и агропромышленные парки, кластеры. При определении местоположения площадных элементов каркаса выбирались населенные пункты, имеющие высокий научно-технический, образовательный, производственный потенциал. Схемой предлагается урбанизированный планировочный каркас, представленный системой планировочных осей и центров, планировочных зон (формирующаяся Южно-Сахалинская

агломерация, территории разрабатываемых и планируемых к разработке различных месторождений, крупных ООПТ, природно-рекреационные). В качестве основы урбанизированного планировочного каркаса Сахалинской области Схемой рассматривается система планировочных осей различного порядка и планировочных центров различных категорий. Система планировочных осей Схемой формируется на основе транспортных направлений и связанных с ними осей расселения. *Оси первого порядка – это широкоформатные международные евроазиатские и межрегиональные связи:* транспортные коридоры «Восток – Запад» и «Север – Юг». Эти формирующиеся транспортные коридоры в перспективе будут обеспечивать связи г. Южно-Сахалинска с главными опорными центрами расселения Дальнего Востока и близлежащих азиатских государств. К ним относятся:

1. *Транссахалинский мультимодальный транспортный коридор «Север – Юг»* меридионального направления, в составе: автодороги Южно-Сахалинск – Оха – Москальво; железнодорожной магистрали Корсаков – Южно-Сахалинск – Ноглики; проектируемой железнодорожной магистрали Ноглики – Оха – Москальво; морских портов в населенных пунктах: Корсаков, Поронайск, Набиль, Москальво; международного аэропорта Южно-Сахалинска и региональных аэропортов – Зональное, Ноглики, Оха; развивающейся трубопроводной системы транспортировки нефти и газа (обслуживающей месторождения по проектам «Сахалин-1–5»); проектируемого мультимодального логистического комплекса в г. Южно-Сахалинске.

2. *Мультимодальный транспортный коридор западного берега о. Сахалин*, меридионального направления, в составе: автодороги Невельск – Томари – аэропорт Шахтерск; проектируемой автодороги аэропорт Шахтерск – Бошняково (с продлением до пгт Смирных); железнодорожной линии Горнозаводск – Невельск – Холмск – Ильинский; проектируемой железнодорожной линии Углегорск – Ильинский, (возможно ее продолжение до Бошняково и Смирных); существующих морских портов в населенных пунктах: Невельск, Холмск, Углегорск, Шахтерск, Бошняково; проектируемый порт Ильинский, аэропорта регионального значения Шахтерск; проектируемого мультимодального логистического комплекса в г. Холмске.

3. *Транспортный коридор «Материк – о. Сахалин* (часть формирующегося международного транспортного коридора «Восток – Запад») меридионального направления, в составе: проектируемых тоннельного (мостового) перехода, а также автомобильной и железной дороги от ст. Ныш до ст. Селихино (морской порт Лазарев (Хабаровский край) – пролив Невельского – о. Сахалин – с дальнейшим выходом на пролив Лаперуза – о. Хокайдо (Вакканай).

Оси второго порядка – это региональные связи на основе существующих транспортных связей и новых транспортных коридоров области. К ним относятся:

1. Широкий транспортный коридор федерального значения Южно-Сахалинск – Холмск – автопаромная переправа Ванино – Холмск, в составе: автодороги федерального значения Южно-Сахалинск – Холмск; проектируемой железнодорожной магистрали Холмск – Анива – Южно-Сахалинск, связывающей две меридиональные железные дороги.

2. Широкий авто-железнодорожный транспортный коридор регионального значения Арсентьевка – Ильинский, связывающий два главных меридиональных коридора: железнодорожная линия Арсентьевка – Ильинский и автодорога Арсентьевка – Ильинский, в составе проектируемых коммуникаций: нефтепровода и газопровода, прокладываемых к проектируемым нефтегазоперерабатывающим заводам и порту Ильинский; широтной проектируемой автодороги регионального значения Краснополье – Гастелло.

Оси третьего порядка дополняют урбанизированный каркас области, в их основе лежат основные местные автодороги: Огоньки – Невельск; Арсентьевка – Ильинское; Охотское – Мальково; Южно-Курильск – Головинно; Курильск – аэропорт Буревестник; Малокурильское – Крабозаводское; Курильск – Рейдов и пр. По всем транспортным направлениям, в первую очередь на транспортных узлах, предусматривается организация многофункциональной системы сервисного обслуживания, в том числе в составе проектируемых (г. Южно-Сахалинск, г. Корсаков) транспортно-логистических комплексов.

Заключение

Предлагаемые в Схеме планировочные оси проходят через наиболее заселенные и развитые территории Сахалинской области. В зоне влияния Транссахалинского

мультимодального транспортного коридора «Север – Юг» получит развитие формирующаяся Южно-Сахалинская агломерация. Вдоль планировочных осей Схемой рассматривается развитие зон экономической активности, развивающиеся городские образования, зоны залегания полезных ископаемых, туристско-рекреационные зоны, особо охраняемые природные территории. Зоны влияния планировочно-коммуникационных осей – автомобильных дорог и железнодорожных магистралей предлагаются для определения территорий благоприятных для градостроительного освоения: возможного расселения, размещения гражданского, рекреационного и промышленно-строительства.

Список литературы / References

1. Мошков А.В. Инфраструктурные зоны хозяйственного развития Дальневосточного федерального округа России // Тихоокеанская география. 2020. № 2 (2). С. 28–39.

Moshkov A.V. Infrastructural zones of economic development of the Far Eastern Federal District of Russia // Pacific Geography. 2020. No. 2 (2). P. 28–39 (in Russian).

2. Шильнов А.А., Волгин А.В. Хозяйственный комплекс Сахалинской области: состояние, социально-экономические и экологические проблемы // Добродеевские чтения – 2017. I Международная научно-практическая конференция. 2017. С. 83–90.

Shilnov A.A., Volgin A.V. The economic complex of the Sakhalin region: state, socio-economic and environmental problems // Dobrodeev readings-2017. I International Scientific and Practical Conference. 2017. P. 83–90 (in Russian).

3. Бугроменко В.Н., Бадалян А.М., Калинин М.Ю., Крылов П.М. Белая книга автодорог Краснодарского края. М.: Май принт, 2005. 101 с.

Bugromenko V.N., Badalyan A.M., Kalinchikov M.Yu., Krylov P.M. White Book of highways of the Krasnodar Territory. Moscow: May print, 2005. 101 p. (in Russian).

4. Крылов П.М. Типологии региональных транспортных систем России: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Институт географии Российской академии наук. Москва, 2007.

Krylov P.M. Typologies of regional transport systems of Russia. Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Geographical Sciences. Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences. Moscow, 2007 (in Russian).

5. Семина И.А. Транспортная инфраструктура в социально-экономическом и экологическом развитии региона // Проблемы региональной экологии. 2008. № 4. С. 126–133.

Semina I.A. Transport infrastructure in the socio-economic and ecological development of the region // Problems of regional ecology. 2008. No. 4. P. 126–133 (in Russian).

6. Шанькин Д.А. Основные элементы социально-экономического состояния и перспективы устойчивого экономического развития Сахалинской области // Журнал правовых и экономических исследований. 2017. № 1. С. 220–225.

Shankin D.A. The main elements of the socio-economic state and prospects for sustainable economic development of the Sakhalin region // Journal of Legal and Economic Research. 2017. No. 1. P. 220–225 (in Russian).

7. Бурдина Е.А., Крылов П.М. Экономическая география. М.: МГИУ, 2011, 203 с.

Burdina E.A., Krylov P.M. Economic geography. Moscow: MSIU, 2011, 203 p. (in Russian).

8. Фомин М.В., Безвербный В.А., Селезнёв И.А., Шуппанова И.С., Мирязов Т.Р. Пространственное развитие При-

морского края и Сахалинской области // Проблемы Дальнего Востока. 2020. № 4. С. 133–152.

Fomin M.V., Bezverbnny V.A., Seleznev I.A., Shushpanova I.S., Miryazov T.R. Spatial development of the Primorsky Territory and the Sakhalin Region // Problems of the Far East. 2020. No. 4. P. 133–152 (in Russian).

9. Строева Г.Н. Оценка развития транспортной системы Сахалинской области // Ученые заметки ТОГУ. 2021. Т. 12. № 1. С. 361–367.

Stroeva G.N. Evaluation of the development of the transport system of the Sakhalin region // Scientific notes of the TOGU. 2021. Vol. 12. No. 1. P. 361–367 (in Russian).

10. Шапкин Д.С. Факторы, сдерживающие развитие дорожного хозяйства Сахалинской области // Казанская наука. 2017. № 6. С. 28–30.

Shapkin D.S. Factors constraining the development of the road economy of the Sakhalin region // Kazan Science. 2017. No. 6. P. 28–30 (in Russian).

11. Казаков Н.А., Генсировский Ю.В. Лавинные риски для транспортных магистралей в Сахалинской области // Физика, химия и механика снега: сборник докладов III Международного симпозиума. 2017. С. 55–61.

Kazakov N.A., Gensirovsky Yu.V. Avalanche risks for transport highways in the Sakhalin region // Physics, chemistry and mechanics of snow. collection of reports of the III International Symposium. 2017. P. 55–61 (in Russian).

12. Котляров Д.А. Оценка развития транспортного комплекса Сахалинской области // Естественные и математические науки в современном мире. 2016. № 39. С. 124–131.

Kotlyarov D.A. Assessment of the development of the transport complex of the Sakhalin region // Natural and mathematical sciences in the modern world. 2016. No. 39. P. 124–131 (in Russian).

13. Алёхина О.Д. Проблемы транспортной доступности Сахалинской области // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2018. Т. 1. С. 131–135.

Alyokhina O.D. Problems of transport accessibility of the Sakhalin region // Scientific, technical and economic cooperation of the APR countries in the XXI century. 2018. Vol. 1. P. 131–135 (in Russian).

14. Мелкий В.А., Братков В.В., Верхотуров А.А. Геологические и геоморфологические предпосылки выбора места перехода «Материк – Сахалин» // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 1. С. 158–170.

Melky V.A., Bratkov V.V., Verkhoturov A.A. Geological and geomorphological prerequisites for choosing the place of transition «Mainland-Sakhalin» // Izvestiya Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering. 2020. Vol. 331. No. 1. P. 158–170 (in Russian).

15. Требушкова И.Е., Полякова Н.О. Географический анализ государственной политики на железнодорожном транспорте России // Географическая среда и живые системы. 2021. № 1. С. 110–130.

Trebushkova I.E., Polyakova N.O. Geographical analysis of state policy on Russian railway transport. In: Geographical Environment and Living Systems. 2021. No. 1. P. 110–130 (in Russian).

УДК 91:502.7

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЛАНДШАФТОВ БАСЕЙНА РЕКИ ИНДИГИРКИ К АНТРОПОГЕННУМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

Николаева Н.А.

*ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения
Российской академии наук» Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова
Сибирского отделения Российской Академии наук, Якутск, e-mail: nna0848@mail.ru*

Для обеспечения условий устойчивого социально-экономического развития северных регионов России одним из приоритетных направлений является дальнейшая разработка стратегически важных минерально-сырьевых ресурсов. В бассейне р. Индигирки, расположенной в северо-восточной части Республики Саха (Якутия), сосредоточено горнодобывающее производство по освоению богатых месторождений россыпного и рудного золота. Вместе с тем бассейн р. Индигирки, в силу уязвимости хрупкой северной экосистемы к техногенным воздействиям, характеризуется особыми условиями экологически рискованного природопользования. Среди них главнейшим является фактор слабой устойчивости геосистем бассейна к любым видам техногенных воздействий и низкой восстановительной способностью их компонентов. Целью исследования явилась оценка степени устойчивости ландшафтов бассейна р. Индигирки, связанная с нарушением поверхностного грунтового и почвенно-растительного покрова. Для этого были приняты основные факторы устойчивости природных комплексов региона – показатели мерзлотно-литогенных и биоклиматических условий. Оценивание степени устойчивости произведено при помощи метода ранжирования в сочетании с методом непосредственной оценки. Определено, что большая часть геосистем исследуемой территории неустойчива к механическим антропогенным нагрузкам. Анализ сочетания основных ландшафтообразующих факторов исследуемого региона позволил оценить степень устойчивости ландшафтов бассейна р. Индигирки следующим образом. Крайней степенью неустойчивости определена озерно-термокарстовая провинция с арктическими тундрами. Неустойчивыми явились озерно-термокарстовая северотаежная, а также горно-тундровые и горноредколесные провинции, а горноредколесные северотаежные ландшафтные провинции определены как слабоустойчивые. Территориальное распределение устойчивости ландшафтов бассейна р. Индигирки закономерно согласуется с широтно-зональным и высотно-поясным распределением мерзлотных и биоклиматических факторов. Так, устойчивость низинной части бассейна является крайне слабой, а устойчивость ландшафтов горной территории подчинена высотной поясности и варьирует от неустойчивой до слабоустойчивой.

Ключевые слова: бассейн р. Индигирка, золотодобывающая отрасль, ландшафты, устойчивость, мерзлотно-литогенные и биоклиматические показатели

ASSESSMENT OF THE SUSTAINABILITY OF THE INDIGIRKA BASIN LANDSCAPES

Nikolaeva N.A.

*Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Research Center «Yakut Scientific Center
of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences» Institute of Physical
and Technical Problems of the North named after V.P. Laronov, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: nna0848@mail.ru*

To ensure the conditions for sustainable social and economic development of the northern regions of Russia, one of the priority areas is the further development of strategically important mineral resources. In the river basin of Indigirka, located in the northeastern part of the Republic of Sakha (Yakutia), mining production is concentrated for the development of rich deposits of placer and ore gold. At the same time, the river basin of Indigirka, due to the vulnerability of the fragile northern ecosystem to technogenic impacts, is characterized by special conditions for environmentally risky nature management. Among them, the most important factor is the weak resistance of the basin ecosystems to any types of technogenic impacts and the low restorative capacity of their components. The aim of the study was to determine the degree of mechanical stability of the landscapes of the river basin of Indigirka associated with disturbance of the surface soil and soil-vegetation cover. For this, the main factors of stability of the natural complexes of the region were taken – indicators of permafrost-lithogenic and bioclimatic processes. The assessment of the degree of stability was carried out using the ranking method in combination with the direct assessment method. It has been determined that most of the geosystems of the study area are unstable to mechanical anthropogenic loads. Analysis of the combination of the main landscape-forming factors of the studied region made it possible to assess the degree of stability of the landscapes of the river basin of Indigirka as follows. The lacustrine-thermokarst province with the arctic tundra is determined by the extreme degree of instability. The lacustrine-thermokarst northern taiga provinces, as well as mountain tundra and mountain sparse forest provinces were unstable, and the mountain sparse wooded northern taiga landscape provinces were identified as weakly resistant. The territorial distribution of the sustainability of the landscapes of the river basin of Indigirka is naturally consistent with the latitudinal-zonal and altitudinal-belt distribution of permafrost and bioclimatic factors. Thus, the stability of the low-lying part of the basin is extremely weak, and the landscapes of the mountainous territory are subordinate to the altitudinal zonation and vary from unstable to weakly stable.

Keywords: basin of river Indigirka, gold mining industry, landscapes, stability, permafrost-lithogenic and bioclimatic indicators

«Основой жизнеспособности Республики Саха (Якутия), как и России в целом, является ее минерально-сырьевая база и добывающая промышленность» [1, с. 9]. Но высокие риски и затраты, связанные с разработкой месторождений, низкая степень изученности экологического воздействия освоения в труднодоступных экстремальных условиях не позволяют в достаточной степени реализовать огромный ресурсный и инвестиционный потенциал Северо-Востока Якутии.

Территория бассейна р. Индигирки, как и всех крупных рек арктического сектора Якутии, характеризуется суровым резко континентальным климатом и расположением в области криолитозоны. В верхнем течении бассейна в пределах Верхне-Индигирского золотоносного района развита горнодобывающая промышленность [2], которая оказывает негативное техногенное воздействие на неустойчивые северные геосистемы, их нарушение и загрязнение. Источниками поступления вредных веществ являются также предприятия инфраструктуры, включая энергогенерирующие предприятия, транспорт, населенные пункты.

Среди неблагоприятных факторов экологически рискованного природопользования в регионе особое значение имеет слабая устойчивость геосистем бассейна к любым видам техногенных воздействий и низкая восстановительная способность геосистем.

Для реализации планов по развитию этой территории необходимы исследования по комплексной оценке природного состояния, часть которых представляет собой качественное оценивание природной устойчивости геосистем к техногенному воздействию, что и явилось целью данного исследования.

Материалы и методы исследования

Оценка устойчивости бассейна р. Индигирки получена исходя из анализа методики [3], где критерием устойчивости мерзлотных ландшафтов являются мерзлотные характеристики литогенной основы, механическое нарушение которых приводит к активизации криогеологических процессов, а также методики [4], в которой оценка основана на рассмотрении биоклиматических условий ландшафтно-экологических комплексов. По величине суммарного балла дана оценка степени устойчивости. Кроме этого была использована Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия) [5].

Результаты исследования и их обсуждение

По мерзлотно-ландшафтному районированию бассейн р. Индигирки входит в состав Северо-Восточной Сибири и включает в себя пять ландшафтных провинций арктической зоны [6]:

В.П.3. Нижнеиндигирскую озерно-термокарстовую тундровую провинцию;

В.П.1. Абыйскую озерно-термокарстовую северотаежную провинцию;

В.П.5. Кондаковско-Улахансисскую плоскогорную провинцию с преобладанием горнотундровых ландшафтов;

В.П.6. Момскую среднегорную горнотундровую и горноредколесную провинцию;

В.П.1. Момо-Селенныхскую межгорно-котловинную провинцию с преобладанием горноредколесных и северотаежных комплексов.

В.П.5. Черскую среднегорную горнотундровую и горноредколесную провинцию;

В.П.4. Оймяконскую провинцию с преобладанием горноредколесных ландшафтов.

Ландшафтная характеристика провинций: В.П.3. Основная площадь Нижне-Индигирской озерно-термокарстовой провинции относится к аласному типу ландшафтов, за исключением южной части, занятой межаласным ландшафтом, и поймы р. Индигирки с низкотеррасовым типом ландшафта. В. П.1. Провинция Абыйская озерно-термокарстовая. Типы природных комплексов: межаласный, аласный, зандровый, древнетеррасовый, низкотеррасовый, мелкодолинный, плоскогорно-привершинный, горно-склоновый. Основные типы ландшафтов – межаласный и аласный. Также имеются зандровый, мелкодолинный, низкотеррасовый и другие типы ландшафтов». В.П.5. Провинция Кондаковско-Улахансисская низкогорная. Основной тип ландшафтов – горносклоновый. Также имеются плоскогорно-привершинные и горно-привершинные комплексы. Развита пустыня горные эпифитно-лишайниковые, тундры горнокаменистые и лишайниковые, а также тундры заболоченные. В.П.6. Провинция Момская среднегорная. Типы местностей: горно-привершинный, плоскогорно-привершинный, горно-склоновый, низкотеррасовый, мелкодолинный, предгорно-зандровый, предгорноморенный, межаласный, ледниково-долинный. Характерны разнообразные формы рельефа – предгорно-зандровые, представленные днищами небольших межгорных впадин,

поверхности древних террас, зандровых равнин, а также межаласный. Растительность представлена подгольцовыми лишайничными кустарничково-лишайниковыми редколесьями и кедровым стлаником. В. VII.1. Провинция Момо-Селенняхская межгорно-котловинная отличается наличием следующих типов местностей: межаласного, аласного, горно-долинного, террасового, предгорного моренного, предгорного зандрового, плоскогорно-привершинного, горно-склонового, горно-привершинного, мелкодолинного, горно-долинного, ледниково-долинного. Для предгорий и горных склонов и межаласий высоких террас характерен редкостойный лишайничник с различными типами подроста и кустарничков, на аласах произрастают ерники со сфагновыми болотами [7].

В связи с наличием многолетнемерзлых пород ведущими факторами устойчивости природных комплексов являются мерзлотные процессы: льдистость поверхностных отложений, температура мерзлых пород и мощность сезонно-талого и сезонно-мерзлого слоев. Наиболее опасным является качественное изменение геоэкологической

обстановки, т.е. переход многолетнемерзлых пород в талое состояние. При переходе среднегодовой температуры через 0 °С начинается оттайка и деградация пород. При этом прочностные свойства пород скачкообразно снижаются и развиваются опасные процессы: термокарст, термоэрозия и др. К резкому повышению среднегодовой температуры приводит снятие теплоизолирующих напочвенных растительных покровов (травяных, лишайниковых и особенно моховых [8]. Факторами, влияющими на устойчивость, являются также климатические и биологические условия, зависящие от соотношения тепла и влаги в каждом природном комплексе: биопродуктивность, поступление тепловой энергии (по величине радиационного баланса), поступление влаги (в основном по величине годовых осадков) [9].

Для оценки устойчивости ландшафтных провинций бассейна р. Индигирки приняты основные факторы их формирования – мерзлотные и биоклиматические показатели (табл. 1). При этом использованы данные, характеризующие ландшафты бассейна р. Индигирки по [5, 6], а также по [10, 11].

Таблица 1
Биоклиматические и мерзлотные показатели ландшафтов бассейна реки Индигирки

Обозначение	Продуктивность, ц/га	Запасы фитомассы, ц/га	Теплообеспеченность, град.	Радиационный индекс сухости, ккал см ² /год	Мощность (стс смс), м	Температура пород на подошве слоя годовых колебаний (средн./мин.), °С	Объемная льдистость пород, %	Характер распространения многолетнемерзлых пород
1	2	3	4	5	6	7	8	9
В. II.3	минимально-продуктивн. менее 20	от 70	очень холодные менее 600	влажные, 0,5–1,0	0,4–0,6	-9... -12	0,2–0,6	сплошной
В. III.1	низкопродуктивн., 20–40	400–1000	умеренно-холодные, 800–1000	недостаточно влажные, 1,5–2,0	0,7–1,2	-4... -7	0,4–0,8	сплошной
В. IV.5	низко-продуктивн. 20–40	ок. 70	холодные менее 600 и очень холодные 600–800	недостаточно влажные, 1,5–2,0	0,4–1,5	-7... -11	0,2–0,4	сплошной
В. VI.6	низко-продуктивн. 20–40 минимально продуктивн., менее 20	ок. 70;	холодные, 600–800	влажные (0,5–1,0)	1,2–1,8	-3... -9	0,2–0,4	сплошной

Окончание табл. 1								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
B.VII.1	низко-продуктивн. 20–40	400–1000	умеренно-холодные 800–1000	недостаточно влажные, 1,5–2,0	0,4–1,8	-3... -8,5	до 0,2...-0,2–0,4	сплошной
B.VI.5	минимально-продуктивн. менее 20 и низко-прод. 20–40	330–720; 1000	умеренно-холодные 800–1000	недостаточно влажные 1,5–2,0	0,7–0,2	-8...- 11	до 0,2...-0,2–0,4	сплошной
B.V.4	низко 20–40 и средне 40–60 продуктивн.	1000	умеренно-холодные 800–1000	недостаточно 1,5–2,0 и умеренно влажные 1,0–1,5	1,0–2,0 1,5–2,5	-2...-4 -2...-6	до 0,2...-0,2–0,4	сплошной

Таблица 2

Оценка влияния природных факторов на снижение устойчивости ландшафтов

Биогидротермические и геокриологические условия	Оценка влияния в баллах			
	1 балл относительно устойчивые	2 балла относительно неустойчивые	3 балла неустойчивые	4 балла крайне неустойчивые
Продуктивность, ц/га	не влияет	слабо влияет	заметно влияет	нарушает
Теплообеспеченность, °С	повышенно-продуктивные, 60–80	средне-продуктивные, 40–60	низко-продуктивные, 20–40	минимально продуктивные, менее 20
Индекс сухости, ккал·м²/год	умеренно-теплые, 1200–1400; 1400–1600	умеренно-холодные, 800–1000; 1000–1200	холодные, 600–800	очень холодные, менее 600
Запасы фитомассы, 1 ц/га	влажные, 0,5–1,0	умеренно-влажные, 1,0–1,5	недостаточно-влажные, 1,5–2,0	сухие, более 2,0
Характер распространения многолетнемерзлых пород	1200–1500	400–1000	330–800	20–100
Температура грунтов, °С	островной	прерывистый	сплошной подрусловыми таликами	сплошной
Льдистость отложений (объемная), отн. ед.	от -5° и ниже	от -5° до -2°	от -2° до -1°	от -1° до +1°
Мощность сезонно-талого (стс) и сезонно-мерзлого (смс) слоев, м	0,1–0,2	0,2–0,4	0,4–0,6	0,6 и более
	более 2,0	1,5–2,0	0,8–1,5	до 0,8

Для оценки устойчивости ландшафтов проведено ранжирование принятых факторов в сочетании с присвоением каждому ландшафту экспертных баллов. Выделены 4 градации по степени влияния определенного фактора на снижение устойчивости ландшафта: наиболее устойчивому ландшафту был присвоен 1 балл, а наименее устойчивому – 4 балла [3, 12], табл. 2.

Оценка устойчивости выполнена путем приведения мерзлотных и биоклиматических показателей ландшафтной провинции в единый ряд по степени их влияния на снижение устойчивости по значениям присвоенных экспертных оценочных баллов каждой из них. Суммарный балл влияния всех факторов показал оценку устойчивости каждой ландшафтной провинции бассейна р. Индигирки (табл. 3). При составлении та-

блицы использованы названия биоклиматических и мерзлотных факторов по [12].

Таким образом, анализ сочетания основных ландшафтообразующих факторов исследуемого региона позволил оценить степень устойчивости ландшафтов бассейна р. Индигирки следующим образом. В большинстве ландшафты бассейна определены как неустойчивые. Так, неустойчивыми явились природные комплексы с аласным, низкотеррасовым, межаласным и мелкодолинным типами ландшафтов. Ландшафты с горно-склоновым, моренным, горно-долинным и долинным типами ландшафтов также отнесены к неустойчивым [10]. Устойчивыми в слабой степени явились ландшафтные комплексы с горно-привершинным и плоскогорно-привершинным типами ландшафтов.

Таблица 3

Степень устойчивости ландшафтов бассейна реки Индигирки

Биоклиматические и мерзлотные факторы	Провинции						
	В.П.3	В.П.1	В.П.5	В.П.6	В.П.1	В.П.5	В.П.4
Продуктивность, ц/га	4	3	3	3	3	3	2
Запасы фитомассы, ц/га	4	2	4	4	2	2	2
Теплообеспеченность, С°	4	2	3	3	2	2	2
Индекс сухости, ккал•м²/год	1	3	3	1	3	3	2
Мощность сезонно-талого (стс) и сезонно-мерзлого (смс) слоев, м	4	3	3	2	2	4	1
Температура грунтов, °С	1	1	1	1	1	1	2
Льдистость поверхностных отложений (объемная), %	3	4	2	2	1	1	1
Характер распространения многолетнемерзлых пород, ммп	4	4	4	4	4	4	4
Сумма баллов	25	22	23	20	18	20	16
Степень устойчивости	крайне неустойчивые	неустойчивые	неустойчивые	неустойчивые	слабоустойчивые	неустойчивые	слабоустойчивые

Заключение

Территориальное распределение устойчивости ландшафтов бассейна р. Индигирки закономерно согласуется с широтно-зональным и высотно-поясным распределением мерзлотных и биоклиматических факторов. Так, если устойчивость ландшафтов северной низинной части реки является крайне слабой, то устойчивость ландшафтов горной части бассейна подчинена высотной поясности и варьирует от неустойчивой до слабоустойчивой.

Выявлено, что Нижнеиндигирская озерно-термокарстовая провинция с арктическими тундрами определена как обладающая крайней степенью неустойчивости в связи с очень низкими биоклиматическими показателями, высокой льдистостью, низкой температурой горных пород и небольшой глубиной слоев сезонного протаивания и промерзания. Биоклиматические показатели северотаежной редколесной Абыйской озерно-термокарстовой провинции определяют ее как слабоустойчивую, но высокая льдистость и малая мощность глубины протаивания снижают ее показатели до неустойчивой. Неустойчивыми явились также Кондаковско-Улахансисская, Момская и Черская среднегорные горнотундровые и горноредколесные провинции, что обусловлено малой мощностью глубин сезонного промерзания и протаивания горных пород, низкими значениями мерзлотных условий. Момо-Селенняхская и Оймяконская горноредколесные северотаежные ландшафтные провинции определены как слабоустойчивые в связи с пониженной льдисто-

стью, повышенными запасами фитомассы и условиями теплообеспеченности.

Практическая значимость заключается в том, что данная работа, являясь необходимым звеном дальнейшего исследования по оценке экологического воздействия освоения труднодоступной территории Крайнего Севера, может привести к обоснованию и разработке ландшафтно-дифференцированных природоохранных мероприятий по снижению экологических последствий воздействия горнодобывающей промышленности в бассейне р. Индигирки.

Список литературы / References

1. Асеев А.Л., Лебедев М.П. О концепции Программы комплексных научных исследований в Республике Саха (Якутия) // Экономика Востока России. 2015. № 2 (4). С. 9–11.
2. Aseev A.L., Lebedev M.P. About the concept of the Program of integrated scientific research in the Republic of Sakha (Yakutia) // Ekonomika Vostoka Rossii. 2015. № 2 (4). P. 9–11 (in Russian).
3. Кычкин В.А., Соловьев Е.Э. Геопотенциальные поля центральной части Верхне-Индигирского района // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2014. Т. 11. № 6. С. 54–58.
4. Kychkin V.A., Soloviev E.E. Geopotential fields of the central part of the Verkhne-Indigirsky district // Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova. 2014. V. 11. № 6. P. 54–58 (in Russian).
5. Шполянская Н.А., Зотова Л.И. Карта устойчивости ландшафтов криолитозоны Западной Сибири // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1994. № 1. С. 56–65.
6. Shpolyanskaya N.A., Zotova L.I. Stability map of landscapes of permafrost zone of Western Siberia // Vestnik MGU. Ser. 5. Geografija. 1994. № 1. P. 56–65 (in Russian).
7. Букс И.И. Некоторые методические вопросы определения потенциальной устойчивости природных комплексов в целях прогнозирования их состояния // Методология и методы географического прогнозирования. 1983. С. 104–113.
8. Buks I.I. Some methodological issues of determining the potential stability of natural complexes in order to predict

their state // Metodologija i metody geograficheskogo prognozirovaniya. 1983. P. 104–113 (in Russian).

5. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1: 1 500 000 / Федоров А.Н., Торговкин Я.И., Шестакова А.А., Васильев Н.Ф., Макаров В.С. и др.; гл. ред. М.Н. Железняк. 2018. 2 л.

Permafrost landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia). Scale 1: 1 500 000 / Fedorov A.N., Torgovkin Ya.I., Shestakova A.A., Vasilev N.F., Makarov V.S. i dr.; gl. red. M.N. Zheleznyak. 2018. 2 l. (in Russian).

6. Федоров А.Н., Ботулу Т.А., Варламов С.П. и др. Мерзлотные ландшафты Якутии: Пояснительная записка к «Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР». 1989. 70 с.

Fedorov A.N., Botulu T.A., Varlamov S.P. etc. Permafrost landscapes of Yakutia: Pojasnitel'naja zapiska k «Merzlotno-landshaftnoj karte Jakutskoj ASSR». 1989. 70 p. (in Russian).

7. Горохов А.Н. Эколого-географическое районирование Верхоянского улуса (района) Республики Саха (Якутия) // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Науки о Земле. 2016. № 3 (3). С. 69–92.

Gorokhov A.N. Ecological and geographical zoning of the Verkhoyansk ulus (district) of the Republic of Sakha (Yakutia) // Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova. Seriya: Nauki o Zemle. 2016. № 3 (3). P. 69–92 (in Russian).

8. Булдович С.Н. Оценка устойчивости многолетне-мерзлых пород к техногенным воздействиям при освоении северных территорий России // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2012. № 1. С. 47–59.

Buldovich S.N. Assessment of the stability of permafrost rocks to technogenic impacts during the development of the northern territories of Russia // Vestnik RUDN. Ser. Jekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti. 2012. № 1. P. 47–59 (in Russian).

9. Абалаков А.Д., Лопаткин Д.А. Устойчивость ландшафтов и ее картографирование // Известия Иркутского государственного университета. 2014. Т. 8. С. 2–14.

Abalakov A.D., Lopatkin D.A. Mapping of Landscape Stability // Izvestija Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. T. 8. P. 2–14 (in Russian).

10. Николаева Н.А. Оценка устойчивости ландшафтов бассейна реки Яны // Успехи современного естествознания. 2019. № 9. С. 79–84.

Nikolaeva N.A. Assessment of the sustainability of landscapes in the Yana river basin // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. 2019. № 9. P. 79–84 (in Russian).

11. Николаева Н.А., Пинигин Д.Д. К вопросу об устойчивости природных комплексов зоны освоения Эльгинского каменноугольного месторождения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 2 (2). С. 457–461.

Nikolaeva N.A., Pinigin D.D. On the issue of the stability of natural complexes in the development zone of the Elga coal deposit // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2016. V. 18. № 2 (2). P. 457–461 (in Russian).

12. Николаева Н.А. Оценка устойчивости ландшафтов трассы ВСТО-1 // Современные наукоемкие технологии. 2012. № 2. С. 7–10.

Nikolaeva N.A. Assessment of the stability of the landscapes of the ESPO-1 highway // Sovremennye naukoemkie tehnologii. 2012. № 2. P. 7–10 (in Russian).

УДК 551.510.42:550.424

ВКЛАД ТРАНСГРАНИЧНОГО АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Топчая В.Ю., Котова Е.И., Чечко В.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: piwis@mail.ru

В работе проанализированы многолетние (2009–2019 гг.) закономерности дальнего переноса воздушных масс и сопутствующих антропогенных примесей для разных сезонов, а также вклад трансграничного атмосферного переноса свинца и кадмия со стороны Западной Европы в загрязнение окружающей среды Калининградской области. Методом расчета обратных траекторий с помощью модели HYSPLIT4 и данных ре-анализа метеорологических элементов NCEP/NCAR рассчитаны 5-суточные обратные траектории движения воздушных масс для центральных месяцев сезонов в течение 10 лет. Также модельный расчет концентраций и потоков Pb и Cd был выполнен для г. Архангельска. Получены результаты сезонных вариаций пространственного распределения функции потенциальных источников Z_{ij} и их влияния на состав атмосферы вблизи изучаемого региона в соответствующем сезоне. Проанализированы многолетние сезонные вариации содержания Pb и Cd в атмосфере над Калининградской областью и выявлены максимальные значения их концентраций от локальных и трансграничных источников в зимний период. Выявлено, что суммарная среднегодовая концентрация Pb ($1581,34 \text{ нг/м}^3$) для Калининградской области примерно в 2 раза меньше по сравнению с Архангельском ($3304,35 \text{ нг/м}^3$), а по Cd примерно в 3 раза – $127,13 \text{ нг/м}^3$ для Калининградской области и $460,53 \text{ нг/м}^3$ для Архангельска соответственно. При этом максимальные значения потоков Pb и Cd на территорию исследуемого региона отмечены в летний период. Суммарный годовой поток Pb на территорию Калининградской области составляет $22\,557,9 \text{ мкг/м}^2/\text{год}$, а Cd – $1836,5 \text{ мкг/м}^2/\text{год}$, при этом % соотношение вклада трансграничных и локальных источников эмиссий Pb и Cd составляет 95/5. Следовательно, трансграничный атмосферный перенос тяжелых металлов с территорий Польши, Германии, Дании и скандинавских стран вносит основной вклад в загрязнение окружающей среды Калининградской области.

Ключевые слова: атмосферный перенос, загрязнение окружающей среды, тяжелые металлы, Калининградская область

CONTRIBUTION OF TRANSBOUNDARY ATMOSPHERIC TRANSPORT OF HEAVY METALS TO ENVIRONMENTAL POLLUTION OF THE KALININGRAD REGION

Topchaya V.Yu., Kotova E.I., Chechko V.A.

Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: piwis@mail.ru

Analyzes the long-term (2009–2019) patterns of long-range transport of air masses and associated anthropogenic impurities for different seasons was presented, as well as the contribution of transboundary atmospheric transport of Pb and Cd from Europe to environmental pollution in the Kaliningrad region. By calculating the return trajectories using the HYSPLIT4 model and data from the re-analysis of the NCEP/NCAR meteorological elements, 5-day return trajectories of air mass movement for the central months of the seasons for 10 years were calculated. Also, a model calculation of the concentrations and fluxes of Pb and Cd was performed for Arkhangelsk. The results of seasonal variations in the spatial distribution of the function Z_{ij} and their influence on the composition of the atmosphere near the studied region in the different season are obtained. The long-term seasonal variations of Pb and Cd content in the atmosphere over the Kaliningrad region are analyzed and the max values of their concentrations from local and transboundary sources in winter are revealed. It was found that the total average annual concentration of Pb (1581.34 ng/m^3) for the Kaliningrad region is about 2 times less than in Arkhangelsk (3304.35 ng/m^3), and for Cd by about 3 times – 127.13 ng/m^3 for the Kaliningrad and 460.53 ng/m^3 for Arkhangelsk, respectively. At the same time, the max values of Pb and Cd fluxes to the territory of the studied were noted in the summer. The total annual flux of Pb to the the studied region is $22\,557.9 \text{ mcg/m}^2/\text{year}$, and Cd is $1836.5 \text{ mcg/m}^2/\text{year}$, while the % of the contribution of transboundary and local sources of Pb and Cd emissions is 95/5. That is, the transboundary atmospheric transport of heavy metals from Poland, Germany, Denmark and the Scandinavian countries makes the main contribution to environmental pollution of the Kaliningrad region.

Keywords: atmospheric transport, environmental pollution, heavy metals, Kaliningrad region

Калининградская область, являясь самым западным субъектом Российской Федерации, расположена отдельно от основной территории РФ и находится в окружении европейских государств. Ввиду географического положения и в соответствии с глобальными циркуляционными условиями над территорией Калининградской области преобладает перенос воздушных масс западного и северо-западного направления, т.е. регион находится на пути трансграничного переноса воздушных масс и сопутствующих аэро-

зольных примесей из стран Европы и Скандинавии на территорию европейской части России и акваторию Балтийского моря. Согласно [1], на окружающую среду региона оказывают большее влияние деятельность промышленных комплексов в странах Западной Европы, нежели промышленных комплексов, расположенных на территории самой области и европейской части России.

Оценка загрязнения атмосферы и антропогенного воздействия на окружающую среду может быть получена как по данным

регулярных мониторинговых наблюдений в течение определенного периода, так и с использованием расчетного мониторинга. На основе расчетов по математическим моделям атмосферного переноса антропогенных загрязнений, используя обобщенные данные о загрязнении атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий районов источников, а также о метеорологических и климатических характеристиках, возможно определить пространственно-временные характеристики загрязнения природной среды региона исследования.

Оценить вклад трансграничного атмосферного переноса загрязняющих веществ в антропогенную нагрузку региона исследования позволяет программа ЕМЕР [2]. Основное направление европейской международной научной программы ЕМЕР (European Monitoring and Evaluation Programme) состоит в оценке взаимного антропогенного воздействия стран Европы. При этом используются как данные официальной статистики стран-участников и модельные подходы, учитывающие временную изменчивость атмосферной циркуляции, так и результаты реестра источников и реального мониторинга состава атмосферы в рамках самой ЕМЕР.

К приоритетным загрязняющим веществам относятся тяжелые металлы, такие как свинец и кадмий, что объясняется их высокой токсичностью, кумулятивной способностью оказывать негативное влияние на экосистему в целом [3]. Основными источниками эмиссий свинца и кадмия являются выбросы промышленных и энергетических комплексов, сельскохозяйственного производства, а также автотранспорта и других видов транспорта. При этом выброс тяжелых металлов в атмосферу транспортом составляет более половины от всех выбросов. По определению ВОЗ, свинец и кадмий являются самыми опасными тяжелыми металлами природной среды; в соответствии с ГОСТ 17.4.1.02-83 эти токсичные химические элементы относятся к первому классу опасности. Их негативное влияние на окружающую среду и живые организмы проявляется не только при повышении их концентрации в атмосферном воздухе, но и в способности свинца и кадмия накапливаться в живых организмах. Так, например, период полураспада в организме свинца составляет примерно 5 лет, а кадмия – 40 лет [4].

Цель исследования – проанализировать многолетние (2009–2019 гг.) закономерности дальнего переноса воздушных масс и сопутствующих антропогенных примесей

для разных сезонов, а также оценить вклад трансграничного атмосферного переноса свинца и кадмия в загрязнение окружающей среды Калининградской области.

Материалы и методы исследования

В основе расчетов дальнего переноса примесей был применен метод статистики траекторий движения воздушных масс, включающий анализ многолетних массивов траекторий переноса воздушных масс и примесей к исследуемому географическому пункту. Используемая методика была разработана в Институте физики атмосферы РАН и усовершенствована в [5], прошла апробацию при оценках антропогенной нагрузки через атмосферу для различных территорий, способна давать уникальную информацию, не противоречащую результатам других научных работ и оценок.

Для расчета обратных траекторий использовались модель HYSPLIT4 и данные ре-анализа метеорологических элементов NCEP/NCAR [6]. Рассчитывались 5-суточные обратные траектории движения воздушных масс, по которым воздух поступает к точке в 00 часов UTC с интервалом расчетов 1 час. Длительность траекторий выбиралась исходя из времени жизни консервативной примеси в атмосфере при ее дальнем переносе. Поскольку длины траекторий значительно превосходят линейные масштабы Калининградской области, траектории рассчитывались для одной точки, заданной на территории области, – 55° с.ш.; 21° в.д. Расчет велся для центральных месяцев сезонов в течение 10 лет (2009–2019 гг.).

На сетке (1°×1°) для каждой ячейки с координатами (*ij*) были рассчитаны значения функции потенциальных источников – Z_{ij} , характеризующей все атмосферные процессы, определяющие перенос примеси от источника *m* к пункту *n*: вероятность, длительность, дальность, вертикальное осаждение на поверхность и горизонтальное распыление. При данном подходе она вычисляется следующим образом:

$$Z_{ij} = \frac{n_{ij} t_{ij} * \exp\left(-\frac{K_{ij} t_{ij}}{h_{ij}}\right)}{2\pi N b h_{ij} L_{ij}^2}, \quad (1)$$

где для каждой ячейки (*ij*) n_{ij} – количество попавших в нее точек траекторий; t_{ij} – среднее время движения воздуха от нее до региона исследования; h_{ij} – средняя высота слоя перемешивания, рассчитанная вдоль всех траекторий движения воздуха от ячейки

к заданной точке; L_{ij} – средняя длина этих траекторий; K_{ij} – средняя скорость осаждения примеси на поверхность при ее движении от ячейки к Калининградской области. Ввиду того что «концы» обратных пятисуточных траекторий имеют разброс в среднем до 500 км, связанный с изменчивостью метеорологических параметров, область функции Z_{ij} сглаживалась с учетом разницы длины 1° параллели и меридиана на заданной широте. В результате для расчетов и построения карт использовались сглаженные распределения функции влияния потенциальных источников эмиссий антропогенной примеси. По результатам расчетов были построены карты распределения значений Z_{ij} , а также выявлены сезонные вариации поступления воздушных масс.

В качестве показателей загрязнения окружающей среды согласно [7] рассчитывалась плотность потоков тяжелых металлов (Pb, Cd) из атмосферы на подстилающую поверхность (на единицу площади) по формуле:

$$F = C \times K \times T, \quad (2)$$

где C – концентрация примеси в приземном воздухе; K – скорость осаждения примеси; T – длительность периода (в данном случае 1 месяц).

Данные об эмиссиях свинца и кадмия в атмосферу с территории Европы выбирались из базы ЕМЕР (European Monitoring and Evaluation Programme), открытой для интерактивного использования через Интернет. База содержит всю информацию об антропогенных выбросах свинца, кадмия, официально представленную секретариатом Конвенции о Трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния и участниками Конвенции.

Для сравнения вклада локальных и трансграничных источников эмиссий тяжелых металлов в загрязнение окружающей среды нами был произведен модельный расчет концентраций и потоков свинца и кадмия, а также их сезонные вариации для города Архангельска (Архангельской области РФ).

Результаты исследования и их обсуждение

Рассчитанные по формуле (1) пространственные распределения значений функции потенциальных источников Z_{ij} для Калининградской области по четырем сезонам представлены на рис. 1. Ввиду резких пространственных изменений функции Z_{ij} на картах была применена логарифмическая шкала.

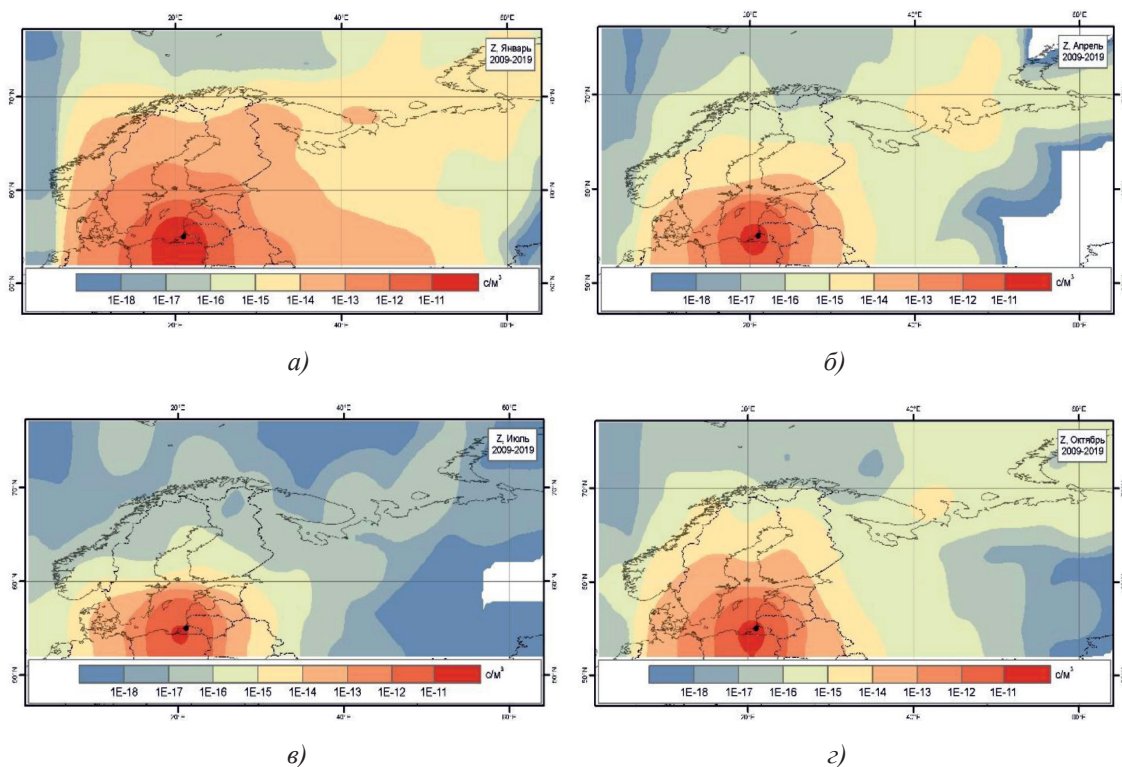


Рис. 1. Карты пространственного распределения значений функции Z_{ij} для разных сезонов 2009–2019 гг.: а – январь; б – апрель; в – июль; г – октябрь

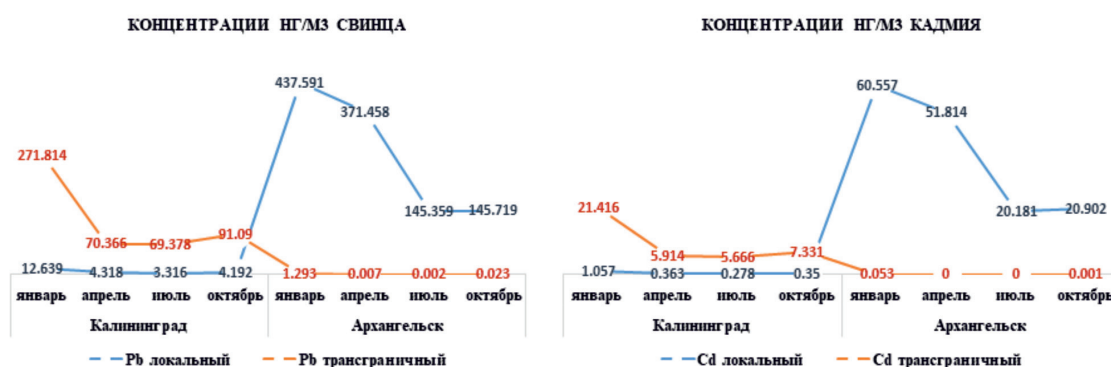


Рис. 2. Сезонные многолетние (2009–2019 гг.) вариации концентраций свинца и кадмия для Калининградской области и Архангельска

Каждое из представленных распределений характеризует потенциальные возможности источников, располагающихся в соответствующих географических точках, влиять на состав атмосферы вблизи изучаемого региона в соответствующем сезоне.

На картах сезонных вариаций средней функции потенциальных источников в зимний период, несмотря на низкую частоту прохождения воздушных масс над исследуемой территорией, интенсивный перенос примесей происходит над обширной территорией, затрагивая западные регионы РФ, а также скандинавские страны. Эффективность переноса загрязнений весной снижается. В летний период поля распределения значений функции Z_{ij} сильно сжимаются, оставляя возможность эффективно загрязнять территорию Калининградской области лишь самым близлежащим источникам, т.е. перенос примесей происходит с акватории Балтийского моря и прибрежных территорий Польши, Литвы и Латвии. В осенний период происходит расширение области эффективности потенциальных источников, перенос примеси отмечается с территорий скандинавских стран, Польши, Германии, Дании с запада и территорий Литвы, Латвии и Эстонии с востока, а также с акватории Балтийского моря; скорость осаднения примеси на поверхность уменьшается.

При анализе сезонных (2009–2019 гг.) вариаций содержания тяжелых металлов (Pb, Cd) в атмосфере от локальных и трансграничных источников над Калининградской областью и Архангельском выявлено, что максимальные концентрации от обоих источников наблюдаются в зимний период (рис. 2). Данная закономерность также от-

мечалась в работе [8], т.е. сезон года оказывает существенное влияние на процесс переноса воздушных масс и сопутствующей им антропогенной примеси, а именно зимой эффективность переноса загрязнений над исследуемой территорией повышается.

На графиках видно, что вклад трансграничного переноса свинца и кадмия в загрязнение атмосферного воздуха над Калининградской областью значительно превышает выбросы локальных источников на территории региона, а для Архангельска, наоборот, вклад трансграничного переноса ничтожно мал по сравнению с локальными выбросами. При этом суммарная среднегодовая концентрация свинца ($1581,34 \text{ нг/м}^3$) для Калининградской области примерно в 2 раза меньше по сравнению с Архангельском ($3304,35 \text{ нг/м}^3$), а по кадмию – примерно в 3 раза: $127,13 \text{ нг/м}^3$ для Калининградской области и $460,53 \text{ нг/м}^3$ для Архангельска.

Результаты сезонных вариаций потоков тяжелых металлов, рассчитанных по формуле (2), представлены в таблице.

В значениях потоков свинца и кадмия из атмосферы по сравнению с их концентрацией в атмосфере наблюдается иная сезонная зависимость. Максимальные значения потоков тяжелых металлов отмечаются в летний период, что связано с большей эффективностью выведения микрочастиц из атмосферы с дождевыми осадками в теплый период года по сравнению с холодным периодом.

Расчет годового потока тяжелых металлов из атмосферы на территорию исследуемого региона в общем характеризует антропогенное воздействие на экосистемы и используется при анализе атмосферного вклада в загрязнение окружающей среды.

**Сезонные вариации потоков из атмосферы свинца и кадмия на территорию
Калининградской области и Архангельска**

Сезоны 2009–2019 гг.	Калининградская область				Архангельск			
	Поток мкг/м²/месяц							
	Трансграничный		Локальный		Трансграничный		Локальный	
	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd
Зима	1092,04	86,04	50,78	4,25	5,19	0,21	1758,07	243,29
Весна	1021,38	85,85	62,68	5,26	0,10	0,01	5391,78	752,09
Лето	3419,15	279,21	163,42	13,70	0,07	0,00	7163,66	994,56
Осень	1634,64	131,56	75,22	6,29	0,41	0,02	2614,97	375,09

Суммарный годовой поток Pb на территорию Калининградской области составляет 22 557,9 мкг/м²/год, а Cd – 1836,5 мкг/м²/год, при этом процентное соотношение вклада трансграничных и локальных источников эмиссий свинца и кадмия составляет 95/5. При сопоставлении полученных результатов с данными расчетов для Архангельска выявлено, что суммарный годовой поток свинца (50 802,8 мкг/м²/год) и кадмия (7095,8 мкг/м²/год) значительно выше, но при этом основной вклад (99%) в загрязнение окружающей среды через атмосферу вносят локальные источники эмиссий данных тяжелых металлов.

Заключение

При анализе многолетних (2009–2019 гг.) сезонных вариаций содержания свинца и кадмия в атмосфере над Калининградской областью выявлены максимальные значения их концентраций от локальных и трансграничных источников в зимний период. При этом вклад трансграничного переноса свинца и кадмия в загрязнение атмосферного воздуха над Калининградской областью значительно превышает выбросы локальных источников, расположенных на территории региона. Суммарная среднегодовая концентрация тяжелых металлов в атмосфере над Калининградской областью составляет 581,34 нг/м³ свинца и 127,13 нг/м³ кадмия. Однако максимальные значения потоков свинца и кадмия на территорию исследуемого региона отмечаются в летний период. Суммарный годовой поток Pb на территорию Калининградской области составляет 22 557,9 мкг/м²/год, а Cd – 1836,5 мкг/м²/год, при этом процентное соотношение вклада трансграничных и локальных источников эмиссий свинца и кадмия составляет 95/5. Следовательно, трансграничный атмосферный перенос тяжелых металлов (Pb, Cd) с территорий Польши, Германии, Дании и скандинавских стран

вносит основной вклад в загрязнение окружающей среды Калининградской области.

Модельные расчеты и анализ полученных данных выполнялись при поддержке гранта РФФИ r_mol_a № 19-45-393007, интерпретация данных выполнялась в рамках госзадания ИО РАН (тема № 0128-2021-0012).

Список литературы / References

1. Топчая В.Ю., Чечко В.А. Потоки вещества из атмосферы в береговую зону юго-восточной части Балтийского моря // Успехи современного естествознания. 2018. № 7. С. 194–199.
2. Topchaya V. Yu., Chechko V. A. Fluxes of matter from the atmosphere to the coastal zone of the south-eastern part of the Baltic sea // Uspexi sovremennogo estestvoznaniya. 2018. № 7. P. 194–199 (in Russian).
3. Медведев И.Ф., Деревягин С.С. Тяжелые металлы в экосистемах. Саратов: «Ракурс», 2017. 178 с.
4. Medvedev I.F., Derevyagin S.S. Heavy metals in ecosystems. Saratov: «Rakurs», 2017. 178 p. (in Russian).
5. Виноградова А.А., Иванова Ю.А. Антропогенная нагрузка на экосистемы Костомукшского природного заповедника: Атмосферный канал. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2013. 84 с.
6. Vinogradova A.A., Ivanova Yu.A. Anthropogenic load on the ecosystems of the Kostomuksha Nature Reserve: Atmospheric channel. M.: FIZMATLIT. 2013. 84 p. (in Russian).
7. Виноградова А.А. Дистанционная оценка влияния загрязнения атмосферы на удаленные территории // Геофизические процессы и биосфера. 2014. Т. 13. № 4. С. 5–20.
8. Vinogradova A.A. Remote assessment of the influence of atmospheric pollution on remote territories // Geofizicheskie processy i biosfera. 2014. Vol. 13. № 4. P. 5–20 (in Russian).
9. Draxler R.R., Rolph G.D. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model, NOAA Air Resources Laboratory, College Park, MD. 2013. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php> (дата обращения: 05.08.2021).
10. Виноградова А.А., Котова Е.И. Оценка потоков тяжелых металлов из атмосферы на поверхность // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2019. № 16. С. 63–67.
11. Vinogradova A.A., Kotova E.I. Assessment of heavy metal flows from the atmosphere to the surface // Trudy Fersmanovskoy nauchnoy sessii GI KNCz RAN. 2019. № 16. P. 63–67 (in Russian).
12. Виноградова А.А., Иванова Ю.А. Тяжелые металлы в атмосфере над северным побережьем Евразии: межгодовые вариации зимой и летом // Географические процессы и биосфера. 2016. Т. 15. № 4. С. 5–17.
13. Vinogradova A.A., Ivanova Yu.A. Heavy metals in the atmosphere over the northern coast of Eurasia: interannual variations in winter and summer // Geofizicheskie processy i biosfera. 2016. Vol. 15. № 4. P. 5–17 (in Russian).

УДК 624.131(470.61-25)

ГРУНТОВЫЕ ТОЛЩИ Г. РОСТОВА-НА-ДОНУ**Хансиварова Н.М., Гуровская А.С.***ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону,
e-mail: n.Khansivarova@yandex.ru*

Статья посвящена анализу грунтовых условий территории г. Ростова-на-Дону – крупного индустриально-промышленного центра Европейской части юга России. Актуальность проведенных исследований обусловлена тем, что строительное освоение ведется в трудных инженерно-геологических условиях, которые характеризуются самой высокой категорией сложности – III. Она обусловлена наличием специфических лёссовых грунтов, проявляющих просадочные свойства. Другой важный фактор, определяющий высокую категорию сложности, – повышение уровня грунтовых вод, следствием которого является увеличение влажности грунтов, усиливающее просадочность. Изучены грунтовые массивы 150 площадок проектируемого строительства промышленных и гражданских сооружений. Анализ и обобщение результатов инженерно-геологических изысканий, проведенных на площадках, позволили авторам в соответствии с классификацией грунтов России выделить классы, группы, типы и виды грунтовых толщ, которые слагают территорию города. При выделении грунтовых толщ учитывались два критерия – литологический состав, строение грунтовых массивов и степень увлажненности пород. Установлено, что в геологическом строении, в основном, принимают участие грунтовые толщ, сложенные грунтами класса «дисперсные». Всего выделено 13 видов грунтовых толщ. Новизна исследования заключается в том, что впервые для конкретной территории проведено обобщение инженерно-геологической информации на иерархическом уровне «грунтовая толща». Кроме того, в классификацию грунтов России авторами внесены новые данные о литологическом строении и состоянии шести видов грунтовых толщ, которые ранее выделены не были. Полученные автором результаты могут быть использованы при решении прикладных задач, связанных с выполнением инженерно-геологических изысканий, типизации территорий, картирования.

Ключевые слова: схематизация, грунтовые толщ, лёссовые породы, дисперсные породы, слабоувлажненные породы

GROUND LAYERS OF ROSTOV-ON-DON**Khansivarova N.M., Gurovskaya A.S.***Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: n.Khansivarova@yandex.ru*

The article is devoted to the analysis of the soil conditions of the territory of Rostov-on-Don, a large industrial center of the European part of the south of Russia. The relevance of the conducted research is because construction development is carried out in difficult engineering and geological conditions, which are characterized by the highest category of complexity – III. It is caused by the presence of specific loess soils that exhibit subsidence properties. Another important factor that determines a high category of complexity is an increase in the level of groundwater, which results in an increase in soil moisture, which increases subsidence. The soil massifs of 150 sites of the projected construction of industrial and civil structures were studied. The groundmasses of 150 sites of the projected construction were studied. The analysis and generalization of the results of engineering and geological surveys conducted at the sites allowed the authors to identify classes, groups, types and types of soil strata that make up the territory of the city in accordance with the classification of soils in Russia. When selecting soil strata, two criteria were taken into account – the lithological composition, the structure of the soil mass and the degree of moisture content of the rocks. It is established that the geological structure mainly involves soil strata composed of dispersed soils. In total, 13 types of soil strata have been identified. The novelty of the research lies in the fact that for the first time for a specific territory, a generalization of engineering and geological information was carried out at the hierarchical level «ground layer». In addition, the authors have introduced new data on the lithological structure and condition of six types of soil strata, which were not previously identified, into the classification of soils in Russia. The results obtained by the author can be used in solving applied problems related to performing engineering and geological surveys, typing territories and mapping.

Keywords: schematization, ground layers, loess rocks, dispersed rocks, slightly wetted rocks

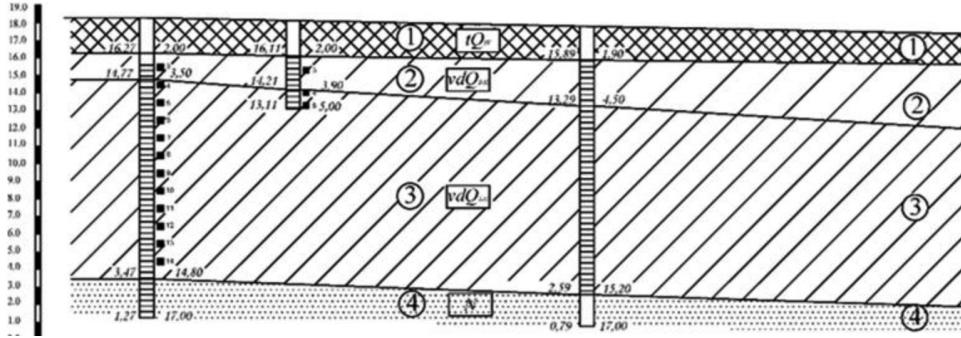
Одним из основных инструментов исследования геологической среды являются инженерно-геологические изыскания, обеспечивающие сведения о показателях свойств, состава и состояния горных пород и подземных вод. Производственная информация, полученная на всех этапах выполнения изысканий, переводится на различные уровни с постепенной схе-

матизацией геологической среды. В общем виде такая схематизация представляет собой переход от описательной текстовой информации к построению геолого-литологических колонок, инженерно-геологических разрезов с последующим расчленением грунтовых массивов на инженерно-геологические (ИГЭ) и расчетные элементы (РГЭ) (таблица).

Выделение ИГЭ и РГЭ осуществляется с применением принципа геолого-генетической оценки состава грунтов, а также хорошо известных вероятностно-статистических методов [1, 2]. На их основе устанавливаются нормативные и расчетные показатели свойств и состава грунтов, выделенных ИГЭ (РГЭ), а также подземных вод. Результатом является структурно-схематическая модель геологической среды, в которой сохраняется инженерно-геологическая основа, используемая для детального комплексного исследования инженерно-геологических условий и их описания, разработки различных количественных критериев, характеризующих состояние компонентов геологической среды; карти-

рования и др. На сегодняшний день высшим иерархическим уровнем схематизации является геомеханическая модель объекта (площадки), которая представляет собой совокупность ИГЭ (РГЭ). Новизной представленных исследований представляется обобщение инженерно-геологической информации на уровне «грунтовая толща». Выполнение подобной схематизации необходимо в связи с тем, что ИГЭ (РГЭ), слагающие грунтовую толщу, имеют разные нормативные и расчетные показатели свойств и состава грунтов, однако для решения многих прикладных геологических и экологических задач необходимо иметь информацию об инженерно-геологических особенностях грунтового массива в целом.

Схематизация инженерно-геологической информации

Визуальное описание ↓	Слой 1 – (t Q) от 0,0 м до 0,9-1,0 м – асфальтовое покрытие (10 см). Насыпной слой: суглинок, почвенный слой. Слой 2 – (dQ) от 0,9-1,0 м до 14,30-14,70 м – суглинок тяжелый пылеватый палево-желтый, твердый, просадочный, незасоленный, ненабухающий с включением карбонатов и редкими вкраплениями марганца. Встречаются редкие прослои супеси (5-12 см). Слой 3 – (eQ) от 14,3-14,7 м до 15,5-16,5 м – погребенная почва – суглинок тяжелый пылеватый, коричневатый, твердый, просадочный, незасоленный, ненабухающий, с карбонатами, вкраплениями марганцами пятнами гумуса				
Геолого-литологическая колонка ↓	Возраст пород	Глубина, м	Мощность слоя, м	Условные обозначения	Геолого-литологическое описание пород
	eQ ₄	0,0-1,0	0,1	1	Асфальт. Насыпной слой: суглинок с почвенно-растительным слоем
	eQ ₄	От 0,9-1,0 до 14,30-14,70	5,0-12,0	2	Суглинок тяжелый пылеватый, от темно- до желто-бурого, твердый, просадочный, незасоленный, ненабухающий с корнеходами
	dQ ₃	От 14,30-14,70 до 15,5-16,5		3	Суглинок тяжелый пылеватый, коричневатый, твердый, незасоленный, с вкраплениями марганцами пятнами гумуса
Геомеханическая модель ↓					
Грунтовая толща →	Грунтовая толща, сложенная грунтами одного класса, дисперсная, двухпородная преимущественно глинистая с лёссовым слоем в верхней части				

Целью исследования является обособление грунтовых толщ, слагающих территорию г. Ростова-на-Дону, а также приобщение новых типов грунтовых толщ, типичных для южного региона, к общепринятой классификации грунтов России.

Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели были изучены 150 отчетов по результатам инженерно-геологических изысканий, проведенных на участках проектируемого строительства объектов промышленного и гражданского назначения. Применены методы анализа информации, такие как сбор данных, метод регистрации, обобщения, ранжирования, классификации и др. [3]. Выделение грунтовых толщ осуществлялось с использованием подхода В.Т. Трофимова к анализу состава, состояния, структуры и территориального распространения грунтов (таблица) [4].

В соответствии с классификацией В.Т. Трофимова по особенностям вещественного состава, структуры и иным критериям грунтовые толщи ранжируются на классы, группы, типы и виды, разновидности. Последние обособливаются значениями характеристик свойств, имеющих важное значение при оценке грунтов как оснований зданий и сооружений.

Результаты исследования и их обсуждение

Город Ростов-на-Дону – ведущий индустриально-промышленный центр Южного федерального округа. В структурно-тектоническом отношении исследуемая территория относится к Скифской плите, которая приурочена к эпигерцинской платформе, в геологическом строении которой участвуют талые и немерзлые горные породы. Платформа состоит из плитного фундамента, представленного темно-сланцевыми отложениями верхнего и нижнего девона. Платформенный чехол сложен породами мезозоя и кайнозоя. Основаниями зданий и сооружений, в основном, являются субаэральные дисперсные породы четвертичного возраста, широко распространенные на территории Европейского юга России [5]. Дисперсные породы представлены связными и несвязными типами, имеют пестрый литолого-петрографический состав, разнообразные структурные особенности и инженерно-геологические свойства. Следует отметить присутствие в грунтовых массивах 1-5 ярусов погреб-

енных почв, датированных четвертичным возрастом [5].

Под грунтовой толщей понимают верхнюю 10-метровую часть массива горных пород, которая находится или может находиться в зоне интенсивного воздействия техносферы [5]. Нами под грунтовой толщей понимается верхняя 30-метровая часть разреза. Это обусловлено тем, что на юге РФ, как правило, бурение инженерно-геологических скважин проводится на глубину не ниже 50 м. Обособление грунтовых толщ осуществлялось по двум группам признаков. Первая группа включала показатели литологического состава и строения, а именно принадлежность грунтов к определенному классу, их сочетание в грунтовой массиве. Вторая группа признаков учитывала степень увлажненности грунтов. Грунтовые толщи, выделенные на территории г. Ростова-на-Дону по литологическим признакам, а также их положение в классификации В.Т. Трофимова представлены на рис. 1.

Классификация грунтовых толщ г. Ростова-на-Дону показывает, что на территории города распространены грунтовые толщи, сложенные грунтами одного класса (скальными или дисперсными) и сложенные грунтами разных классов (скальными и дисперсными). Преобладают грунтовые толщи, сложенные грунтами одного класса, – дисперсные грунты. Они составляют 86 % от всего количества выделенных толщ и представлены группами: однопородными, двухпородными, многопородными. В литологическом составе перечисленных групп выделяются типы глинистых и лёссовых пород. В меньшей степени присутствуют песчаные и щебнистые грунты. Следует отметить, что в классификации В.Т. Трофимова используется термин «лёссовые грунты», критериями выделения которых являются: гранулометрический состав, светлая палево-желтая окраска, низкая влажность, значительный размер пор и содержание пустотного пространства в объеме породы, присутствие легко- и среднерастворимых солей, в том числе карбонатов, обеспечивающих способность держать вертикальные откосы в сухом состоянии; наличие слабых водонеустойчивых структурных связей. С 1950-х гг. неотъемлемым критерием лёссовых пород стала просадочность – способность доуплотняться при повышении влажности под действием собственного веса или под нагрузкой [6].

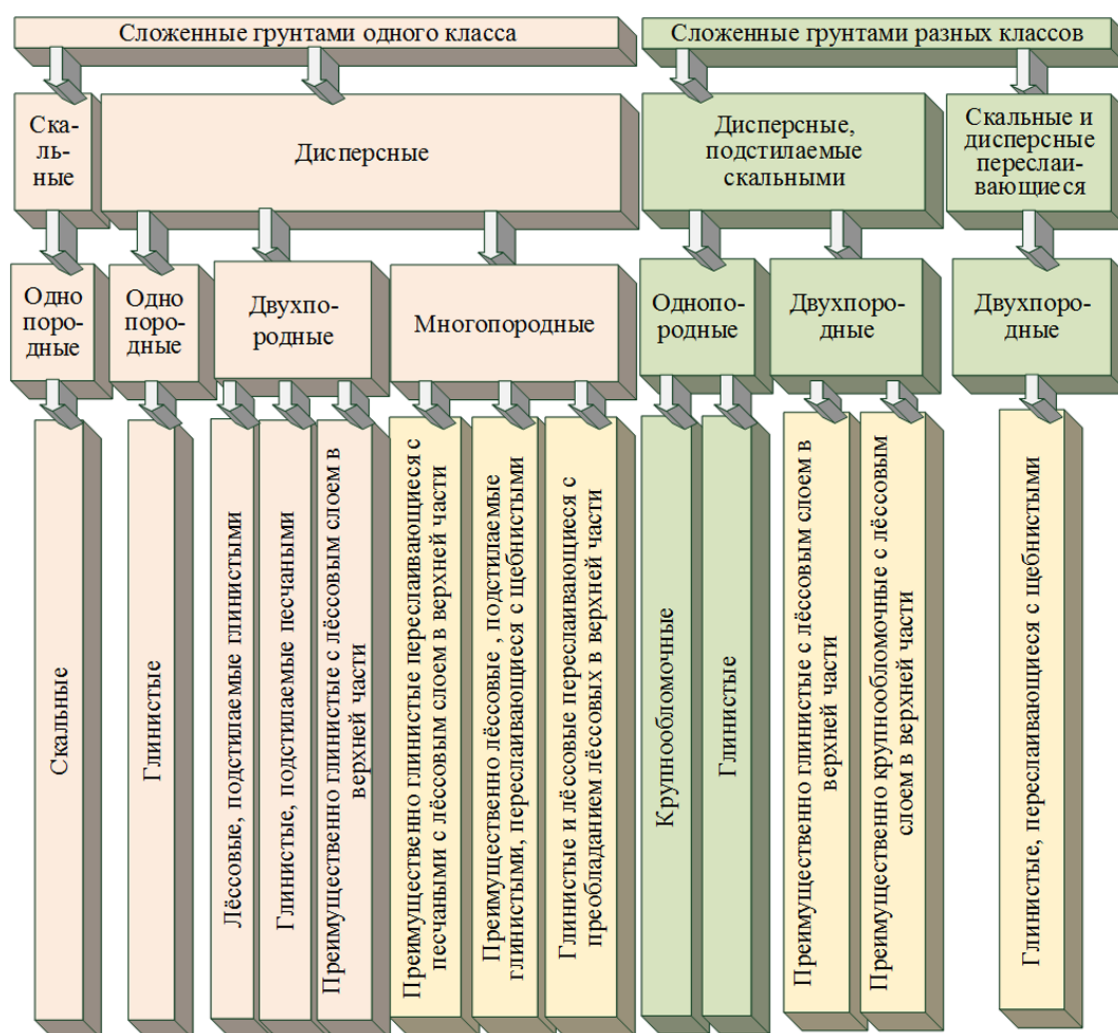


Рис. 1. Классификация грунтовых толщ г. Ростова-на-Дону

Среди глинистых видов, входящих в грунтовые толщи данного класса, наиболее распространены суглинки и глины легкие и тяжелые, пылеватые, от твердой до тугопластичной, реже мягкопластичной консистенции, непросадочные, ненабухающие или слабо набухающие, без примеси или с примесью органических веществ, незасоленные. Лёссовые виды грунтовых толщ, как правило, сложены суглинками легкими, реже тяжелыми, пылеватыми, твердыми, полутвердыми, просадочными, ненабухающими без примеси или с примесью органических веществ, незасоленными или слабозасоленными.

Среди обломочных грунтов преобладает элювий известняка-ракушечни-

ка – дресвяный или щебнистый грунт с обломками известняка разных размеров, разной степени выветрелости, малой или средней прочности, слабоувлажненными с глинистым заполнителем от 20 % до 47 %, основу которого составляет суглинок легкий или тяжелый, пылеватый, твердый. В качестве заполнителя также может присутствовать супесь опесчаненная, твердая.

Скальные грунты представлены известняками неогенового возраста, плотными, размягчаемыми от средней до сильной степени выветрелости, средней прочности с отдельными прослоями прочного известняка. Породы не выдержаны по простиранию и часто переслаиваются с песками.



Рис. 2. Соотношение наиболее распространенных видов грунтовых толщ, %

Процентное соотношение наиболее распространенных грунтовых толщ, слагающих территорию г. Ростова-на-Дону, представлено на рис. 2.

Присутствие грунтовых толщ в геологическом разрезе изучаемой территории, не отраженных в диаграмме, не превышает 1,5% от общего числа выделенных толщ.

Некоторые грунтовые толщи, отнесенные к классу дисперсных грунтов группе многопородных, выделены авторами впервые. К ним относятся:

- преимущественно глинистые переслаивающиеся с песчаными с лёссовым слоем в верхней части;
- преимущественно лёссовые, подстилаемые глинистыми, переслаивающиеся с щебнистыми;
- глинистые и лёссовые переслаивающиеся с преобладанием лёссовых в верхней части.

Для грунтовых толщ, сложенных грунтами разных классов, характерно меньшее классификационное разнообразие. Отмечается отсутствие грунтовых толщ группы скальных, подстилаемых дисперсными грунтами, а группа дисперсных, подстилаемых скальными, представлена только однопородными и двухпородными типами. Наиболее характерными видами грунтовых толщ данного класса являются глинистые и крупнообломочные породы. Достаточно часто в верхней части толщ имеется лёссовый слой. Крупнообломочные, глинистые и лёссовые виды представлены разновидностями, описание которых приведено для грунтовых толщ, сложенных грунтами одного класса. Грунтовые толщи, отнесенные к группе скальных и дисперсных переслаивающихся,

характеризуются чередованием слоев глин, известняка и песка, мощность которых не превышает 1 м.

Среди грунтовых толщ данного класса впервые выделены следующие:

- дисперсные, подстилаемые скальными двухпородные преимущественно глинистые с лёссовым слоем в верхней части;
- дисперсные, подстилаемые скальными двухпородные преимущественно крупнообломочные с лёссовым слоем в верхней части;
- скальные и дисперсные переслаивающиеся двухпородные глинистые, переслаивающиеся с щебнистыми.

Выводы

На основании анализа и обобщения собранных данных о литологическом составе и состоянии грунтовых массивов, изученных авторами, можно сделать следующие выводы.

1. В отличие от В.Т. Трофимова, который принимает мощность грунтовой толщи 10 м, авторами под грунтовой толщей понимаются горные породы и почвы, слагающие верхнюю 30-метровую часть разреза.

2. На территории г. Ростова-на-Дону выделено 13 видов грунтовых толщ. Среди них 8 сложены грунтами одного класса; 5 сложены грунтами разных классов.

3. Среди грунтовых толщ одного класса присутствуют скальные однопородные и дисперсные однопородные, двухпородные и многопородные типы грунтов. Грунтовые толщи дисперсной группы представлены семью видами, среди которых наибольшее распространение получили: преимущественно глинистые с лёссовым слоем

в верхней части; лёссовые, подстилаемые глинистыми; глинистые. Их доля составляет 78% от всех выделенных видов грунтовых толщ обоих классов и 89% – от видов грунтовых толщ, сложенных одним классом (рис. 2). Доля грунтовых толщ скальных однопородных составляет 3% от всех грунтовых толщ данного класса.

4. Классификация грунтов России, разработанная для обширной территории РФ, не может в полной мере отразить многообразные особенности состава, состояния и свойств грунтовых массивов различных регионов. Авторами впервые в группе дисперсных грунтовых толщ, сложенных грунтами одного класса, выделены новые виды, а именно преимущественно глинистые переслаивающиеся с песчаными с лёссовым слоем в верхней части; преимущественно лёссовые, подстилаемые глинистыми, переслаивающиеся с щебнистыми; глинистые и лёссовые переслаивающиеся с преобладанием лёссовых в верхней части. Все перечисленные виды относятся к типу многопородных.

5. Грунтовые толщи, сложенные грунтами разных классов, распространены менее широко по сравнению с толщами предыдущего класса. Среди разноклассовых толщ преобладают дисперсные, подстилаемые скальными, одно- и двухпородные. Их доля составляет 87% от выделенных толщ всего класса. Авторами выделены новые виды, из которых 2 приурочены к группе дисперсных, подстилаемых скальными двухпородных: преимущественно крупнообломочные с лёссовым слоем в верхней части; преимущественно глинистые с лёссовым слоем

в верхней части. Последний является самым распространенным видом среди грунтовых толщ данного класса. На его долю приходится 48% от всех обособленных в данном классе толщ.

6. По степени влажности грунтовые толщи разделяются достаточно равномерно с небольшим преимуществом (57%) слабоувлажненных. Следует отметить, что увлажненные грунтовые толщи в основном залегают в восточной части города.

Список литературы / References

1. Комаров И.С., Хайме Н.М., Бабенышев А.П. Многомерный статистический анализ в инженерной геологии. М.: Недра, 1976. 199 с.
2. Komarov I.S., Khaime N.M., Babenyshev A.P. Multidimensional statistical analysis in engineering geology. M.: Nedra, 1976. 199 p. (in Russian).
3. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. ГОСТ 20522–2012. М.: Стандартинформ, 2013. 20 с.
4. Hilbert M., López P. The world's technological capacity to store, communicate, and compute information. Science. 2011. V. 332, Is. 6025. P. 60–65.
5. Инженерная геология России. Том 1. Грунты России: монография / Под ред. В.Т. Трофимова, Е.А. Вознесенского, В.А. Королева. М.: КДУ, 2011. 672 с.
6. Engineering Geology of Russia. Volume 1. Soils of Russia: monograph / Edited by V.T. Trofimov, E.A. Voznesensky, V.A. Korolev. M.: KDU, 2011. 672 p. (in Russian).
7. Трофимов В.Т. Инженерная геология России. Том 3. Инженерно-геологические структуры России. М.: Издательский дом «КДУ», 2015. 710 с.
8. Trofimov V. T. Engineering Geology of Russia. Volume 3. Engineering and geological structures of Russia. M.: Publishing House «KDU», 2015. 710 p. (in Russian).
9. Теоретические основы аспекты инженерной геологии / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Издательство «Академическая наука» ООО «Геомаркетинг», 2019. 280 с.
10. Theoretical aspects of engineering geology / Edited by V.T. Trofimov. M.: Publishing house «Academic science» «Geomarketing» Co Ltd, 2019. 280 p. (in Russian).

УДК 552.513:552.144:551.3.051

ПЕСЧАНИКИ НИЖНЕХЕТСКОЙ СВИТЫ: ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ**Черданцева Д.А.***АО «Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа»,
Томск, e-mail: cherdantsevada@tomsknpi.ru*

В работе изложены основные результаты применения комплексной литолого-петрофизической методики по изучению нижнемеловых песчаных пород-коллекторов нижнехетской свиты для южной части Большехетской структурной террасы на примере Лодочного месторождения углеводородов. Приведены новые данные о внутренней структуре Лодочного вала, особенностях его строения и вещественном составе слагающих его пород. Предложена концептуальная модель геологического развития изучаемого региона в берриас – ранневаланжинское время, основанная на комплексной интерпретации данных литолого-седиментологических и геофизических исследований, максимально точно описывающая условия формирования терригенных отложений изучаемой свиты. В результате проведенных исследований было установлено, что в начале раннемеловой эпохи на территории Лодочного вала господствовала обстановка барьерного побережья, в условиях которой произошло формирование вытянутых в северо-северо-восточном направлении песчаных баров, отложения которых впоследствии сформировали основные продуктивные пласты нижнехетской свиты. На основании изучения состава и геологического строения вещественных комплексов региона удалось проанализировать причины вертикальной и латеральной неоднородности продуктивных песчаных пластов-коллекторов нижнехетской свиты методом построения палеогеографических схем изучаемого региона на литолого-фациальной основе с использованием данных седиментационных срезов куба акустического импеданса продуктивных пластов. По данным петрофизического изучения песчаников установлено, что наибольшей проницаемостью обладают образцы керна, отнесенного по ряду литологических признаков к отложениям склона и гребня вдольберегового вала. Полученные данные о геологическом строении и условиях формирования песчаников нижнехетской свиты могут быть использованы при построении геологической и гидродинамической моделей Лодочного нефтегазоконденсатного месторождения.

Ключевые слова: песчаник, обстановки осадконакопления, нижнехетская свита, диагенез, Красноярский край**THE NIZHNEKHET SUITE SANDSTONES: GEOLOGICAL FEATURES AND SEDIMENTARY ENVIRONMENT****Cherdantseva D.A.***Tomsk oil and gas research and design institute, Tomsk,
e-mail: cherdantsevada@tomsknpi.ru*

The paper presents the main results of the integrated lithological and petrophysical methodology application for the Lower Cretaceous sandstone reservoirs from the Nizhnekhet suite studying by using core material from well in the Lodochnoye hydrocarbon field in southern part of the Bolshekhet terrace. The paper presents new data on the Lodochny Arch geological structure and the rock material composition. The author proposed a new conceptual model of the geological development for the studied region in the Berriasian – early Valanginian time, based on a comprehensive interpretation of the lithological-sedimentological and geophysical data, which most accurately describes the sedimentary environment of the studied suite. As a result, it was established that at the beginning of the Early Cretaceous epoch, the barrier coast environment was dominated on the Lodochny Arch territory, in the conditions of which sand bars extended in the northeast direction were formed, that deposits subsequently formed the main productive strata of the Nizhnekhet suite. Based on the sediment complexes of the region composition material data and geological structure, it was possible to analyze the reasons for the vertical and lateral heterogeneity of productive sandstone reservoirs of the Nizhnekhet suite by drawing paleogeography schemes of the region using sedimentation sections and seismic research data. According to the petrophysical data, it was found that the highest permeability is character for the core samples which were identified as sediments of the slope and crest of sandy bar by a number of lithological features.

Keywords: sandstone, sedimentary environment, Nizhnekhet suite, diagenesis, Krasnoyarsk region

Активное геологическое изучение северо-восточной части Западно-Сибирской плиты связано с ее перспективностью на углеводороды [1, 2]. Здесь в пределах Большехетской структурной террасы открыты сразу несколько нефтегазоконденсатных месторождений, объединенных в Ванкорский кластер. Для данного региона составлены принципиальные схемы расчле-

нения меловых отложений и установлены основные закономерности их распространения, однако большинство деталей строения остаются слабоизученными в силу вертикальной и латеральной неоднородности продуктивных толщ. Сложное фациальное строение продуктивных свит данного региона затрудняет корреляцию пластов в скважинах по данным ГИС, интерпрета-

цию сейсмических данных, а также построение геологических моделей месторождений углеводородов [3]. При разработке месторождений актуальным остается вопрос о локальных закономерностях распространения песчаных тел и возникает острая необходимость в выделении зон с наилучшими фильтрационно-емкостными параметрами [4]. Объектом проводимого автором исследования стали нижнемеловые отложения нижнехетской свиты на территории Лодочного вала в южной части Большехетской структурной террасы.

Цель исследования сводилась к выяснению особенностей геологического строения и условий формирования нижнехетской свиты на территории Лодочного вала с использованием нового комплексного подхода к интерпретации литолого-фациальных данных.

Материалы и методы исследования

Автором была осуществлена работа по аналитической интерпретации материалов лабораторных исследований: изучен керновый материал из 8 скважин, общая протяженность которого составила 550 м. По данным 2D и 3D сейсмических исследований региона и анализа керна построены палеофациальные схемы развития южной части Лодочного вала. Описание 156 петрографических шлифов произведено на поляризационном микроскопе

Olympus BX-51. Используемые в работе данные о пористости и проницаемости песчаников по гелию получены на анализаторе AP-608 – 156 образцов.

Результаты исследования и их обсуждение

Современные представления о геологическом строении осадочного чехла Западно-Сибирской плиты в общем виде отражены на сейсмостратиграфическом разрезе (рис. 1). Специфика строения нижнемеловых отложений сводится к принципиальному отличию неокомского клиноформенного комплекса центральной части от субгоризонтально залегающих отложений север-востока территории. Свое научное исследование автор посвятил решению вопроса выявления особенностей геологического строения и условий формирования нижнемеловых отложений Лодочного вала в северо-восточной части Западно-Сибирской плиты.

Известно, что в мезозое было выделено два крупных пика трансгрессии: в поздней юре и позднем мелу. А значит, все свиты, сформированные между этими двумя пиками, можно отнести к крупному регрессивному циклу. На палеогеоморфологических схемах видно, как на территории Западной Сибири менялись очертания эпиконтинентальных морей в процессе геологического развития территории (рис. 2).

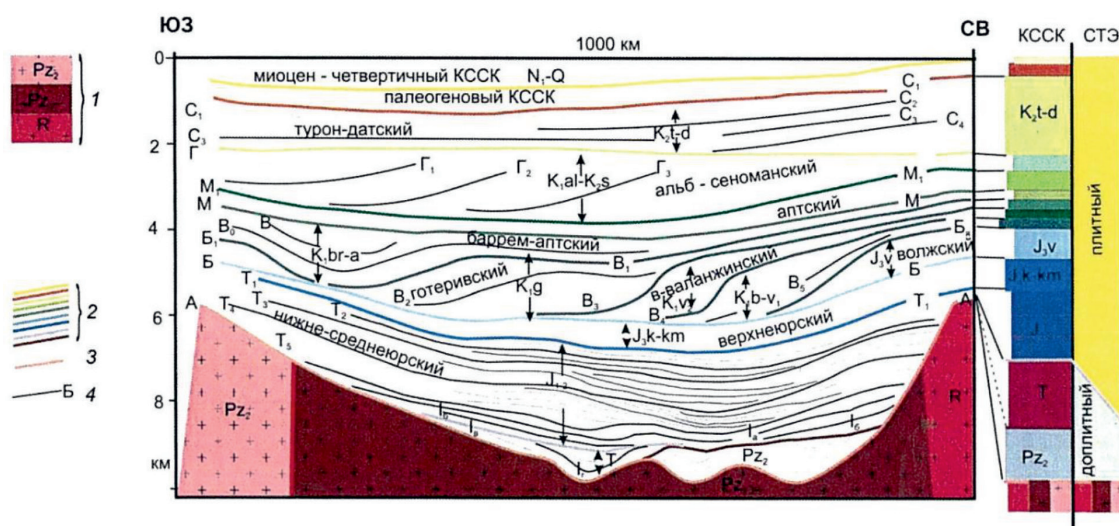


Рис. 1. Сейсмостратиграфический разрез осадочного чехла Западно-Сибирской плиты (по Н.Я. Кунину (1995) с дополнениями В.П. Алексеева [5]: 1 – консолидированная кора разного возраста; 2 – границы квазисинхронных сейсмостратиграфических комплексов; 3 – поверхность консолидированной коры; 4 – отражающие горизонты и их индексы

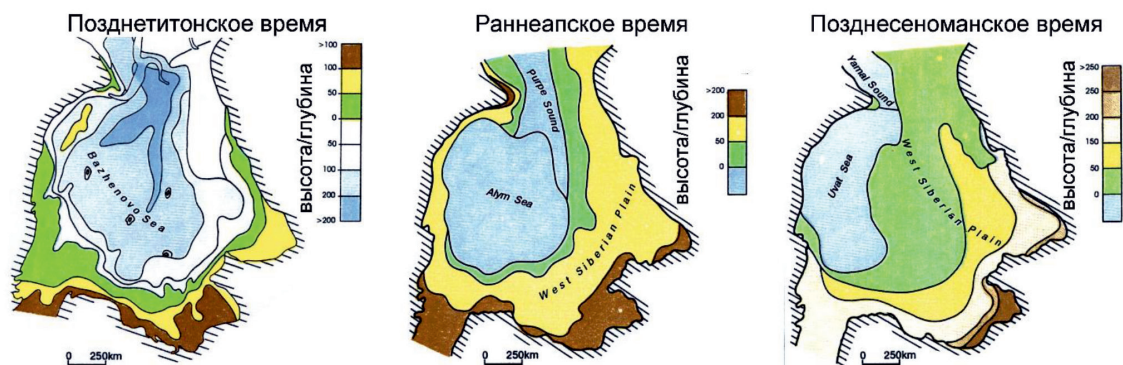


Рис. 2. Палеогеоморфологические схемы развития Западной Сибири (Сурков, 1995), отражающие регрессивный этап развития изучаемой территории. На схемах видно, как происходило постепенное отступление линии моря в западном направлении

Вслед за этим происходило изменение условий седиментации. Расшифровка пространственно-временных закономерностей, характерных для отдельных регионов, позволяет построить схемы и определиться с моделью формирования продуктивных отложений. Для определения условий формирования осадочных пород северо-востока Западно-Сибирской плиты на территории Лодочного вала в раннемеловую эпоху автором был изучен и послойно описан керновый материал из 8 глубоких скважин Лодочного месторождения углеводородов.

Изученные отложения нижнехетской свиты представлены ритмичным чередованием песчано-алевритовых и глинисто-алевритовых прослоев с преобладанием последних. По данным описания кернового материала песчаные и песчано-алевритовые прослои сложены в нижней и верхней частях преимущественно алевритами, в средней – песчаниками; цвет пород – от светло-серого до темно-серого, нефтенасыщенные песчаники имеют бурый оттенок, голубовато-белое свечение в УФ и слабый по интенсивности запах. Автором изучено 550 м кернового материала, в том числе 408,64 м песчаных пластов Нх-I, Нх-III-0 и Нх-III-IV. На рис. 3 представлен составленный автором сводный литологический разрез нижнехетской свиты. Основные продуктивные песчаные пласты с точки зрения фациальной принадлежности были отнесены к отложениям, сформированным в условиях гребней и склонов вдольбереговых баров по ряду характерных признаков:

1) хорошие сортированность и окатанность обломков, преимущественное развитие волнистых и разнонаправленных ко-

слоистых текстур, свидетельствующих о формировании изучаемых песчаных отложений под воздействием волновой и приливно-отливной деятельности осадочно-го бассейна;

2) в обломках раковинного детрита были отмечены ростры белемнитов и раковины двустворок. Среди биотурбационных текстур в керне присутствуют следы зарывания двустворок. Ихнофациальный анализ и наличие следов прибрежно-морской фауны позволили отнести песчаники к прибрежной зоне мелководья. Среди многообразия ихнофоссилий были отмечены: Chondrites, Planolites, Macaronichnus, Phycosiphon, Skolithos, Teichichnus, Zoophycos, Diplocraterion;

3) песчаные пласты выдержаны по мощности и простираению;

4) микротекстуры песчаников гребня и склона вдольбереговых баров преимущественно ориентированные и слойчатые, для пород из отложений межбаровых ложбин характерна биотурбационная микротекстура с ходами илоедов, выполненных глинисто-хлорит-сидеритовым цементом и обломками алевритовой размерности;

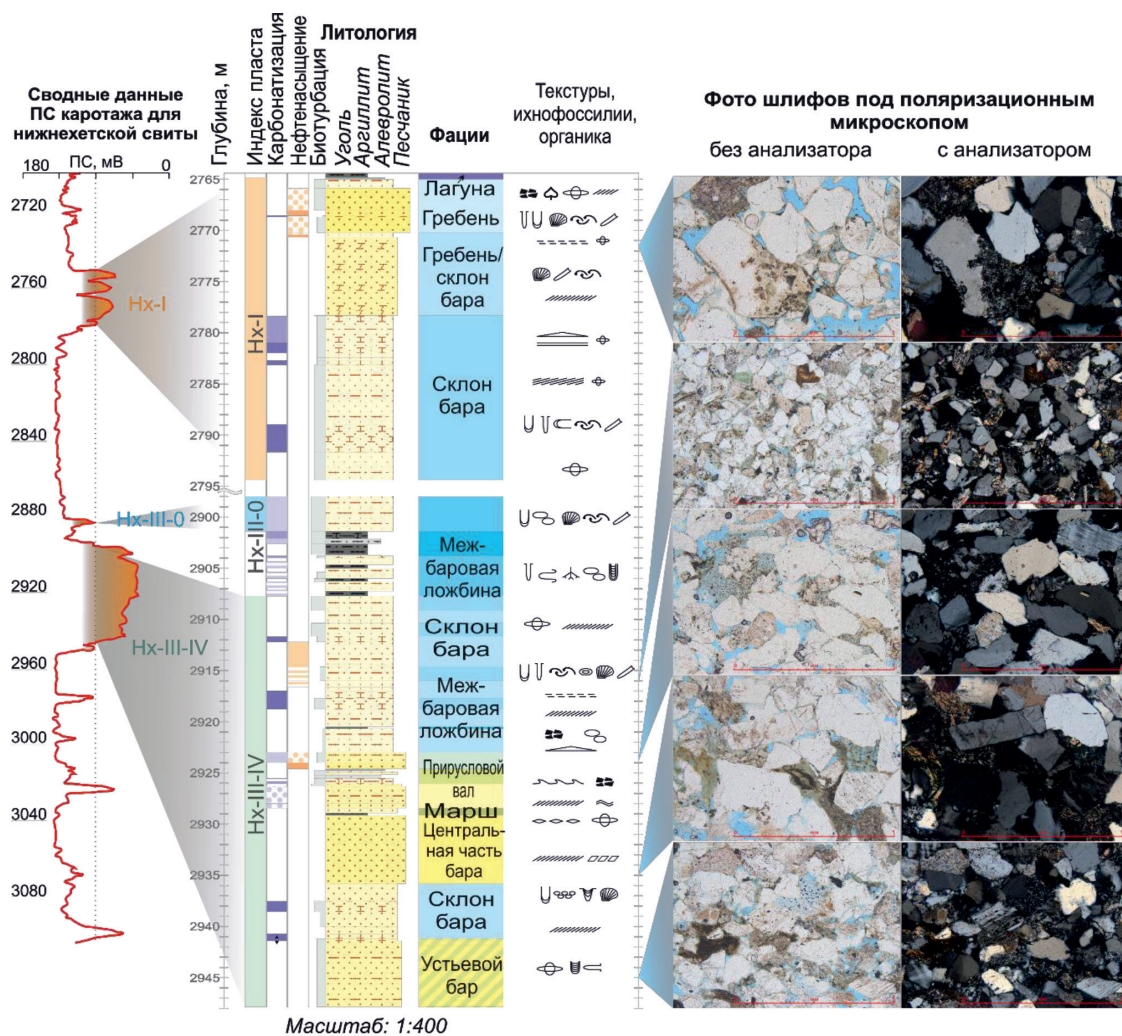
5) в шлифах всех продуктивных пластов нижнехетской свиты встречаются окатанные зерна глауконита и стяжения пирита, что также указывает на первичный прибрежно-морской генезис отложений.

Комплексная интерпретация полученных литологических данных в совокупности с данными интерпретации ГИС и сейсмических исследований позволила построить палеогеографические схемы. На рис. 4 видно, что для отложений нижнехетской свиты в пределах изучаемой территории характер-

но наличие вытянутых в северо-северо-восточном направлении аккумулятивных прибрежных форм.

Срезы 20 и 30 мс ниже кровли песчаного пласта Нх-III-IV отражают наличие бара северо-восточного простирания. В западной части происходит смена осадков отложениями

открытого моря. С восточной стороны Лодочного вала ожидается преобладание лагунных отложений. Юго-западную часть изучаемого региона стоит рассматривать как зону с преобладанием морских, преимущественно глинистых, отложений открытого моря.



Текстуры и типы слоистости				Ихнофоссилии		Органические остатки			
	прерывистая		биотурбационная		Chondrites		Teichichnus		белемниты
	горизонтальная		оползневая		Planolites		Zoophycos		раковины червей Ditrupa
	линзовидная		интракластовая		Macaronichnus		Diplocraterion		раковины двустворок
	волнистая				Phycosiphon		следы зарывания двустворок		неопределимый раковинный детрит
	косая плоско-параллельная				Skolithos				остатки корней
	косая однонаправленная				Неопределимые вертикальные и горизонтальные ходы				отпечатки флоры
	градационная				Schaubcylindrichnus				неопределимый растительный детрит

Рис. 3. Сводный литологический разрез нижнехетской свиты, построенный по данным изучения кернового материала, дополненный данными фациального и петрографического анализов

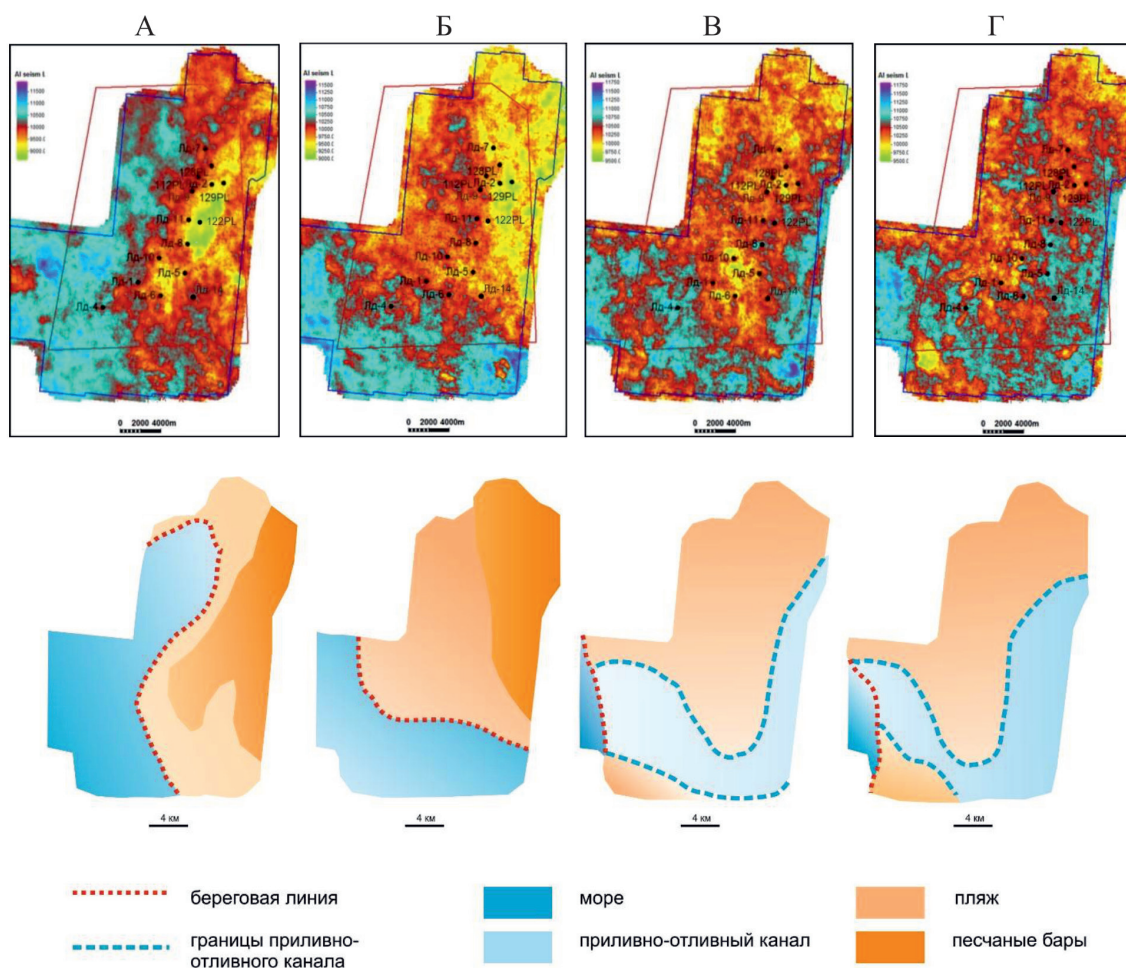


Рис. 4. Палеогеографические схемы, отражающие этапы формирования отложений нижнехетской свиты, на литолого-фацальной основе с использованием данных седиментационных срезов куба акустического импеданса пласта Нх-III-VI (берриас – ранний валанжин): А – 30 мс ниже кровли, Б – 20 мс ниже кровли, В – 10 мс ниже кровли, Г – 0 мс ниже кровли пласта Нх-III-VI

На основании лабораторных данных изучения кернового материала и интерпретации седиментационных срезов, построенных по акустическому импедансу, было установлено, что на момент формирования нижнехетской свиты на территории Лодочного вала существовали три основные зоны осадконакопления: лагуны с отложением глинистого и тонкоалевритового материала на востоке; пляж, где происходило формирование вытянутых в северо-северо-восточном направлении песчаных тел; переходная зона с алевро-песчаными и глинистыми отложениями в западной части региона. В результате крупного регрессивного цикла происходило постепенное смещение береговой линии в западном направлении. Концептуальная модель формирования от-

ложений нижнехетской свиты в условиях регрессивного цикла развития изучаемого региона представлена на рис. 5.

Анализ данных ФЕС кернового материала показал, что максимальной проницаемостью в отложениях нижнехетской свиты (в среднем свыше 1000 мД) обладают песчаники гребня и склона бара за счет крупной зернистости материала, высокой пористости и низкого содержания аутигенных цемента. Постоянная смена фаций в отложениях вышележащих по разрезу свит позволила сделать выводы о том, что небольшие колебания уровня моря наблюдались во всех изученных отложениях вплоть до начала позднего мела. Однако крупных колебаний уровня моря в изученных отложениях не выявлено и в целом наблюдается постепенная регрессия моря.

Баровое побережье в регрессивный цикл развития региона



Рис. 5. Созданная автором концептуальная модель прибрежной зоны мелководья в условиях регрессии моря, отражающая условия седиментации на территории Лодочного вала на момент формирования отложений нижнехетской свиты (берриас – ранний валанжсин)

Заключение

По результатам совместной интерпретации: данных литолого-седиментологических исследований (петрографического анализа шлифов, морфологической и генетической типизации слоистости, фациального анализа) и данных геофизических исследований региона (ГИС, сейсмических исследований) была подобрана наиболее подходящая седиментационная модель, максимально точно описывающая условия формирования терригенных отложений нижнехетской свиты. Текстульный и вещественный анализ песчаников, изучение остатков флоры и фауны, а также комплекса аутигенных минералов позволили выбрать условия осадконакопления, характерные для изучаемого региона на момент формирования продуктивных осадочных отложений. Установлено, что продуктивные песчаные пласты нижнехетской свиты на территории Лодочного вала были сформированы в условиях гребня и склона вдольберегового бара, что привело к образованию относительно однородных и выдержанных по мощности пластов хорошо сортированных песчаников, флюидоупором

для которых стали сильно биотурбированные, обогащенные глинистым материалом отложения межбаровых ложбин.

Список литературы / References

1. Скоробогатов В.А., Давыдова О.Г., Кананыкина Е.С. Нефтеносность Западно-Сибирской мегапровинции // Вести газовой науки. 2017. № 3(31). С. 13–28.
Skorobogatov V.A., Davydova O.G., Kananykhina E.S. Oil-bearing capacity of the West Siberian megaprovince // Vesti gazovoy nauki. 2017. № 3 (31). P. 13–28 (in Russian).
2. Ershova A.V. The environmental problems of the oil industry in Krasnoyarsk // Innovative trends in the development of Russian science: Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference of Young Scientists. Krasnoyarsk State Agrarian University. 2019. P. 260–262.
3. Казаис В.И. Арктика: геологоразведка будущего // Региональная энергетика и энергосбережение. 2017. № 3. С. 116.
Kazais V.I. Arctic: geological prospecting of the future // Regional energy and energy saving. 2017. № 3. P. 116 (in Russian).
4. Романов Д.В., Гринченко В.А., Натеганов А.А., Розбаева Г.Л. Современные методики детального изучения геологического строения Сузунского месторождения // Нефтяное хозяйство. 2010. № 11. С. 20–23.
Romanov D.V., Grinchenko V.A., Nateganov A.A., Rozbaeva G.L. Use of Modern Methods to Make a Detailed Study of Suzunskoye Field Geologic Structure. Oil Industry. 2010. № 11. P. 20–23 (in Russian).
5. Алексеев В.П. Атлас субаквальных фаций нижнемеловых отложений Западной Сибири (ХМАО-Югра). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. 284 с.
Alekseev V.P. Atlas of subaqueous facies of the Western Siberia Lower Cretaceous deposits (KMAOkrug-Yugra). Yekaterinburg: UGGU Publishing House, 2014. 284 p. (in Russian).

ОБЗОРЫ

УДК 911.2:551.89(262.81)

**ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ БАСЕЙНА КАСПИЙСКОГО МОРЯ
В ПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ГОЛОЦЕНЕ И СОВРЕМЕННЫЕ
КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ (В ПРЕДЕЛАХ РОССИИ)**¹Волкова Т.А., ²Антипцева Ю.О., ²Мищенко А.А.¹ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва;²ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», Краснодар,

e-mail: mist-next4@inbox.ru, geomorpho@rambler.ru

В данной статье рассматриваются особенности истории развития Каспийского реликтового водоема в плейстоценовую и современную эпоху, а также проведен анализ связей с группой закономерностей и процессов, влияющих на положение береговой линии и площадь Каспия. Кроме того, исследуется влияние текущих природных условий и антропогенного фактора на современное колебание уровня водоема. В результате исследования было установлено, что развитие южных внутренних морей на разных этапах позднего плейстоцена и голоцена отличалось от развития морей, сообщавшихся с Мировым океаном. Система внутриматериковых водоемов – Каспийского, Азово-Черноморского и Средиземного – эволюционировала взаимосвязанно. В ходе трансгрессионно-регрессионных циклов произошло несколько смен колебаний уровня и площади Каспия. Поздний голоцен – эпоха обретения бассейном Каспийского моря современного облика. Нынешний уровень и положение береговой линии Каспийского моря, помимо глобальных закономерностей, определяются интенсивным антропогенным вмешательством в прибрежные природные комплексы. Свидетельствами особенностей, качественных отличий и количественных параметров бассейнов Каспия являются серия морских террас, комплексы древних береговых форм рельефа. Уровень Каспия испытывает закономерные колебания, которые с некоторой условностью можно считать периодическими («всплески» трансгрессий и регрессий в данном случае – экстремумы, которые осложняются небольшими осцилляциями). Перспективы дальнейшей разработки темы зависят от решения ряда задач. Так, определяющую роль играют палинологические, палеогеографические, биостратиграфические исследования, геофизические методы, глубинное бурение, методы абсолютных датировок. При проведении исследования использовались ряд собственно-географических методов исследования: литолого-палеогеографический, палинологический, геоморфологический методы, а также общенаучные методы анализа, описания и сравнения.

Ключевые слова: Каспийское море, плейстоцен, голоцен, трансгрессия, регрессия, климат, оледенение, межледниковье, морские террасы

**HISTORY OF THE CASPIAN SEA BASIN EVOLUTION IN THE PLEISTOCENE
AND HOLOCENE AND CURRENT LEVEL OSCILLATIONS (WITHIN RUSSIA)**¹Volkova T.A., ²Antiptseva Yu.O., ²Mishchenko A.A.¹Institute of Oceanology named after P.P. Shirshov Russian Academy of Sciences, Moscow;²Kuban State University, Krasnodar, e-mail: mist-next4@inbox.ru, geomorpho@rambler.ru

This article examines the features of the history of the development of the Caspian relict reservoir in the Pleistocene and modern epochs, and also analyzes the relationship with a group of patterns and processes that affect the position of the coastline and the area of the Caspian. In addition, the role of the current natural conditions and the anthropogenic factor on the current fluctuation of the water level is investigated. As a result of the study, it was found that the development of the southern inland seas at different stages of the Late Pleistocene and Holocene differed from the seas communicating with the World Ocean. The system of inland water bodies – the Caspian, Azov-Black Sea and Mediterranean – has evolved interconnected. In the course of transgression-regression cycles, there were several changes in the level and area of the Caspian Sea. Late Holocene – the era of the acquisition of a modern appearance by the Caspian Sea basin. The current level and position of the coastline of the Caspian Sea, in addition to global patterns, are determined by intensive anthropogenic interference in coastal natural complexes. A series of sea terraces, complexes of ancient coastal landforms are evidence of the features, qualitative differences and quantitative parameters of the Caspian basins. The level of the Caspian Sea experiences regular fluctuations, which, with some convention, can be considered periodic («bursts» of transgressions and regressions in this case are extremes, which are complicated by small oscillations). Prospects for further development of the topic depend on the solution of a number of problems. Thus, palynological, paleogeographic, biostratigraphic studies, geophysical methods, deep drilling, and methods of absolute dating play a decisive role. During the study, a number of geographic research methods were used: lithological-paleogeographic, palynological, geomorphological methods, as well as general scientific methods of analysis, description and comparison.

Keywords: Caspian Sea, pleistocene, holocene, transgression, regression, climate, glaciation, interglacial, sea terraces

Палеогеографические исследования Каспия имеют большое значение для детального восстановления и изучения событий минувших геологических эпох как таковых, для мониторинга современной уровня

поверхности водоема, решения актуальных проблем рационального природопользования в пределах береговой зоны и морского дна, успешного ведения различных видов хозяйственной деятельности.

Цели исследования – проследивание истории развития Каспийского реликтового водоема в плейстоценовую и современную эпоху, анализ связей с группой закономерностей и процессов, влияющих на положение береговой линии и площадь Каспия, выявление роли текущих природных условий и антропогенного фактора на современное колебание уровня водоема.

Материалы и методы исследования

Результаты региональных палеогеографических исследований района побережья Каспийского моря в пределах России нашли отражение в работах А.Л. Чепалыги [1, 2]. Труды Г.И. Рычагова [3, 4] и П.В. Федорова [5] использовались для анализа наиболее поздних этапов развития котловины Каспия. Представляют интерес работы, посвященные динамике древнего климата [6, 7]. Также в настоящей работе использованы труды, посвященные эволюции водоема [8–10]. В исследованиях А.А. Свиточа [11, 12] освещена палеогеографическая реконструкция изменений бассейна с применением фациального анализа отложений. А.А. Свиточ и иные также уделяют большое внимание связям с соседними бассейнами [13–15]. Работы И.И. Спасской, В.И. Астахова, Т.А. Яниной позволяют установить корреляцию циклов оледенений и межледниковий с трансгрессивно-регрессивными явлениями [16–18]. Т.А. Янина устанавливает пути миграций фаунистических сообществ Понто-Каспия [19]. В исследованиях С.А. Гусейновой, А.С. Абдусаматова дается оценка современным климатическим, гидрологическим и геологическим условиям, техногенному фактору, определяющим уровень положения Каспия сегодня [20]. В.В. Ковалевым высказывается предположение о зависимости уровня моря от солнечной активности [21]. К.М. Петров и иные по изменению положения растительных ассоциаций (и в целом структуры геосистем) в береговой зоне отслеживают осцилляции современного Каспия [22]. В сравнительном аспекте интересен также опыт иностранных исследований [23], где с помощью ГИС-технологий выявляется связь современных геоэкологических процессов с колебаниями уровня моря. Непосредственно авторами данной статьи издан ряд трудов по данной тематике [24–26]. Также ими опубликована работа, посвященная общим вопросам берегового ландшафтоведения [27].

При проведении исследования использовались литолого-палеогеографический,

палинологический, геоморфологический методы, а также общенаучные методы анализа, описания и сравнения.

Результаты исследования и их обсуждение

Существовавший в палеогене – начале неогена палеоокеан Паратетис распался на несколько остаточных водоемов Каспийского, Азово-Черноморского и Средиземного морей, периодически сообщавшихся друг с другом. Четвертичный период является важным этапом развития этих бассейнов, поскольку именно тогда водоемы приобрели современные очертания [9]. Следует, однако, подчеркнуть, что особенности развития и характер котловин Каспийского и Черного морей позволяют отнести их к разным типам водоемов: каспийский – реликтовый от неогеновых бассейнов, утративший связь с ними в плейстоцене, характеризуется сложными и резкими колебаниями уровня, обусловленными климато-гидрологической ситуацией. Данному типу присущи значительные пространства затопления слабосолеными водами, разнящимися по минералогическому составу с водой океанической. Это единственный водоем из системы южных морей с быстро эволюционирующей малакофауной (дидакны).

Черноморский (понтский) тип представляет собой полузакрытый бассейн сложного развития от замкнутого пресноводного до полуизолированного с изменчивой соленостью (5–30‰) [6].

И.И. Спасская и иные [16] в плейстоценовой истории развития южных морей отмечают три крупных этапа: самый ранний и длительный охватывает эоплейстоцен и начало раннего плейстоцена с общей тенденцией к похолоданию; второй, соответствующий раннему и среднему плейстоцену, с сохранением тенденций к похолоданию, и последний, продолжительностью примерно 150 тыс. лет, протекавший во время последнего крупного климатического макроцикла (межледниковье – оледенение) и в начале нового макроцикла – голоцена.

На изменение уровня южных морей основное влияние оказывал климато-гидрологический фактор. Он же определил одновременное развитие бакинской, древнеэвксинской и древнехазарской трансгрессий Понто-Каспия.

Общеизвестно, что Каспийское море – самый большой по площади замкнутый водоем мира. Его площадь – 386,4 тыс. км², объем вод – 78,5 тыс. км³, наибольшая глу-

бина – 1025 м. Уровень моря в настоящее время на 28 м ниже уровня океана [7]. Главными орографическими единицами побережья являются: на севере – Прикаспийская низменность, на западе – горы Восточного Предкавказья и Большого Кавказа с узкой прибрежной низменностью. Рельеф дна представляют: обширный шельф Северного Каспия с батиметрией до 20 м, ограниченный на юге Мангышлакским порогом, Среднекаспийская впадина глубиной до 800 м со спокойным рельефом дна, ограниченная на юге крупным поднятием – Апшеронским порогом. В Среднекаспийской и Южнокаспийской впадинах шельф представляет собой узкую полосу наклонной равнины (до 50 км), простирающуюся до глубинной отметки 100 м. В рельефе материковой отмели представлены реликтовые аккумулятивные и абразионные формы – древние береговые линии, связанные с регрессивными этапами развития Каспия в плейстоцене и голоцене, когда часть шельфа и даже весь шельф осушались и в их пределах формировалась континентальная обстановка. Изменения уровня Каспия в четвертичный период отразились на характере донных осадков, крупность и сортировка которых переходят от песчано-ракушечных и крупнообломочных осадков в прибрежной зоне до преимущественно илистых или алевритово-илистых фракций на больших глубинах.

Данные для реконструкции истории развития Каспия были получены при изучении древних морских террас, широко распространенных на побережье, и анализе отложений естественных обнажений и образцов бурения. Серия террас является доказательством произошедших в четвертичный период трансгрессий, которые чередовались с фазами отступления.

Относительно Каспийского моря в настоящее время существует представление о четырех главных этапах четвертичной истории: бакинском, хазарском, хвалынском и послехвалынском (новокаспийском). Доказательствами регрессивных стадий, разделявших трансгрессивные, являются стратиграфические несогласия, переслаивание морских и прибрежно-морских осадков с континентальными, врезание овражно-балочной сети, выраженные затопленные следы прежних уровней [7].

В течение почти всего квартала Каспий стока не имел. В трансгрессии уровень разнился с современным на 50 м, в регрессии он падал более чем на 50 м. Размах колебаний, соответственно, составлял более 100 м [8].

Эволюция Понто-Каспия сопряжена с глобальными климатическими изменениями, трансгрессивно-регрессивными явлениями в Мировом океане, эпохами ледниковый и межледниковый Русской равнины и горных территорий [18]. Последний макроклиматический цикл (130–10 тыс. лет назад) включает межледниковую (микулинскую) и двухстадийную ледниковую (валдайскую) эпохи позднего плейстоцена. Основная причина перемен уровней Каспия и Понта заключалась в глобальных климатических изменениях. Локально на эволюцию бассейнов влияли ледниково-межледниковые события. Так, холодные трансгрессии совпадают со стадиями. Уровненные отметки Каспия и Понта зависели от высоты Маныча и Босфора [8]. Теплые трансгрессии Каспия увязываются с фазами похолодания и увлажнения межледниковый, Понта – трансгрессии океана в межстадиалы. Отступление ледников закономерно влекло повышение уровня и его осцилляции.

В позднем плейстоцене, в эпоху микунского межстадиала, Каспий регрессировал, в Понте же, наоборот, происходила крупная карангатская трансгрессия, причиной которой явился межледниковый подъем уровня Мирового океана. Последующая позднехазарская трансгрессия, сменившая регрессию Каспия, была двухстадийной. Оба водоема сообщались по долине Маныча [17].

Сравнительный анализ моллюсков Понта и Каспия позволил установить направление их миграций между ними в обе стороны по Манычскому проливу и, соответственно, связь между водоемами [24].

Проведенный Т.А. Яниной [19] биостратиграфический анализ малакофаунистических сообществ установил событийную последовательность колебаний уровней Каспия и Понта на протяжении всего плейстоцена.

П.А. Каплин и иные [6] указывают 9 трансгрессий южной группы морей, отличающихся продолжительностью, режимом, размахом, рангом колебаний.

В нижнем плейстоцене на Каспии завершалась апшеронская трансгрессия, в Понте начиналась чаудинская трансгрессия.

В начале плейстоцена получила развитие послеапшеронская регрессия (тюркянский, он же добакинский, бассейн). Его уровень располагался на отметках около –150 м н.у.м. По мнению А.А. Свиточа, эта четвертичная регрессия была наиболее глубокой и наиболее продолжительной –

около 100 тыс. лет. За это время на периферии бассейна выработалась обширная поверхность размыва, следы которой сохранились в современном рельефе дна моря и на шельфе. Тюркянский горизонт представлен древними аллювиальными отложениями Волги. Предполагается, что в конце эпохи береговая линия была выше и, возможно, достигала отметки 0 м абсолютной высоты [8].

О морских бассейнах раннего плейстоцена в Прикаспии и Причерноморье можно судить по отложениям бакинского горизонта. Начало среднего плейстоцена на Черном море ознаменовалось древнеэвксинской морской трансгрессией.

Бакинский этап включал две трансгрессии – ранне- и позднебакинскую, разделенные регрессивной фазой, размеры и значение которой оцениваются по-разному. Значительная мощность нижнебакинских отложений (около 500 м в депрессиях) свидетельствует о длительности накопления. П.В. Федоров [5] считает, что тюркяское и раннебакинское время в сумме охватывает около трети всего плейстоцена. В раннебакинское время уровень моря располагался несколько ниже нуля, в позднебакинское время – на уровне +10 м [7].

После незначительной регрессии наступила урунджикская трансгрессия, после которой снова произошла очередная довольно глубокая венедская регрессия и уровень моря упал до отметок –70...–80 м. Венедская регрессия явилась завершающим раннеплейстоценовым этапом эволюции Каспия [7]. Венедско-кривичский (сингильский) этап в начале среднего плейстоцена подразделяется на две регрессивные эпохи – венедскую и кривичскую, разделенные небольшой урунджикской трансгрессией. Соленость и температура воды были более высокими, чем сейчас [8].

Обширная и продолжительная среднеплейстоценовая раннехазарская трансгрессия (250–300 тыс. лет назад) оставила после себя серию террас, сохранившихся на высотах от 85 м до 170 м н.у.м. Она также имела несколько фаз. Уровень моря, по Г.И. Рычагову [3], располагался примерно на отметках +10 м. Сток происходил через Манычский порог в сторону черноморской котловины в древнеэвксинско-узунларский бассейн. Конец среднего плейстоцена совпал с регрессией, уровень установился ниже современного [7].

Раннехазарская (гюргянская) трансгрессия – другой значительный этап, не уступа-

ющий по размаху бакинской трансгрессии. Отложения широко развиты в понижениях рельефа. В предгорьях Кавказа нижнехазарские осадки слагают аккумулятивный чехол террас и представляют собой мелководные и прибрежно-мелководные фации песчаного, песчано-галечного и терригенно-карбонатного состава. Предположительно, показатель солености составлял около 14–15‰ [8].

Гюргяно-хвалынский (ательский) этап – длительная эпоха низкого уровня Каспия между раннехазарской и раннехвалынской трансгрессиями. Она также состоит из двух эпох падения уровня моря – черноморской и ательской, разделенных временем небольшого повышения – позднехазарской трансгрессией, когда уровень не превышал +10 м н.у.м. На протяжении ательской регрессии уровень моря опускался до отметки –50 м н.у.м. В сильно обмелевшем и сократившемся по площади Каспия почти вымерли существовавшие группы дидакн и сформировались представители хвалынской, менее солонолюбивой, фауны [8].

Начало позднеплейстоценового этапа связано с позднехазарской трансгрессией. Уровень моря тогда поднялся до абсолютных отметок 10–20 м. По П.В. Федорову [5], эта трансгрессия происходила в эпоху миккулинского (рисс-вюрмского) межледникового. Последовавшая после регрессия привела к осушению пространств Прикаспия и формированию осадков континентального типа, представленных аллювиальными и лессовидными суглинками (ательская свита). Считается, что уровень ательской бассейна достигал –50 м н.у.м. и ниже. С миккулинским межледниковьем обычно сопоставляется уровень позднехазарской трансгрессии. Террасы некоторых рек Каспия относят к миккулинскому межледниковью (шестая терраса р. Сулак). В позднем плейстоцене во время миккулинского межледникового в долине Маныча формируются карангатские морские отложения в основании разреза второй террасы высокого уровня. В Прикаспийской низменности и в береговых обрывах низовьев Волги к миккулинскому времени относятся лиманные и морские верхнехазарские осадки [16].

Непродолжительное тектоническое поднятие небольшой амплитуды во время валдайской ледниковой эпохи вызвало регрессию позднехазарского бассейна, которое сменилось опусканием всей площади Прикаспийской низменности и развитием раннехвалынской трансгрессии Каспия,

в ходе которой уровень моря достигал отметок +50 м н.у.м. В последующую эпоху происходили постепенное отступление моря, осушение впадины, формирование широких надпойменных террас долины Волги, наращивание дельты вслед за отступанием береговой линии. Мелкие реки теряли связь с морем и заканчивались в замкнутых неглубоких впадинах или формировали субаэральные дельты [16].

Валдайская ледниковая эпоха Восточно-Европейской равнины отличалась на ранней стадии прохладностью и сухостью климата. Происходит ательская регрессия Каспия и посткарангатская – Понта.

В межстадиальную эпоху валдайского оледенения наблюдались смягчение климата Русской равнины, общее положительное уравнивание водного баланса за счет увеличения стока и уменьшения испарения. На Каспии начинается раннехвалынская трансгрессия, Понту соответствует сурожский бассейн.

В поздневалдайскую стадию падение уровня Понта усилилось (новоэвксинский бассейн), Каспий же продолжал подниматься.

Эволюция раннехвалынского водоема прекратилась при похолодании с наиболее резкими для всего плейстоцена условиями климата. Доказано развитие на берегах бассейна криогенных процессов. Уровень закономерно снижался, достигнув Манычского порога, через который часть вод проникала в Понт. Новоэвксинский бассейн, принимая воды Каспия, развивался по каспийскому типу [17]. Третье, оно же последнее, знаковое повышение отметок Каспия (хвалынская трансгрессия) датируется второй половиной позднего плейстоцена. Соответствующие отложения распространены на современном побережье. Древние береговые линии окаймляют отложения реликтового бассейна.

В позднем плейстоцене зафиксирован последний значительный подъем уровня Каспия – хвалынская трансгрессия.

Береговые линии раннехвалынского моря отмечены на высотах 45–47; 30–32; 22–25 м н.у.м. Соленость была значительно выше, чем в современном Северном Каспии [8]. Отмечаются несколько стадийных береговых линий раннехвалынского бассейна, представленных террасами на абсолютных высотах 32–34, 20–22 и 12–14 м, изредка на высоте 8–9 м [5]. Береговая линия на отметках 20–22 м выражена наиболее отчетливо и имеет значительную

ширину террасы, что свидетельствует о длительном стоянии уровня моря. Возраст раннехвалынской трансгрессии составляет 35–65 тыс. лет и коррелирует с ранней (калининской) стадией валдайского оледенения. В течение раннехвалынского времени отмечается смена климатической обстановки: от прохладного влажного климата в начале трансгрессии до более засушливого в конце. Последовательный ряд понижающихся раннехвалынских террас свидетельствует о том, что после первой максимальной стадии (+50 м) море постепенно регрессировало [7]. В конце этого времени уровень моря понизился до отметок ниже современного уровня Каспия, и наступила енотаевская регрессия, уровень которой, по Рычагову [3], отмечается на –43...–45 м н.у.м.

Согласно классической точке зрения, хвалынские трансгрессии отвечают фазам развития ледниковых покровов: нижнехвалынская – ранневалдайскому, верхнехвалынская – поздневалдайскому. Но однозначного решения этого вопроса пока нет. Одним из наиболее характерных процессов эпохи было лессонакопление. В Северном Прикаспии отмечается островное развитие маломощного олового материала, имевшего некоторые признаки облессования. Эти процессы распространились на осушенный шельф Черного и Азовского морей, где лессы данного возраста обнаружены при подводном бурении [16]. На Черном море в начале голоцена развивается межледниковая черноморская трансгрессия [17].

Позднехвалынская трансгрессия стала заключительным этапом, завершившим позднеплейстоценовую историю Каспия. Начало голоцена совпало с регрессией, которая начала развиваться во второй половине позднехвалынского этапа. Считается, что уровень регрессии составлял –70 м н.у.м. [7]. В раннем голоцене началась Новокаспийская регрессия (послехвалынский этап), продолжающаяся по сей день. Осадки современного возраста определяются наличием митилястера полосатого и абры овальной. В историческую и современную эпохи положение уровня Каспия неоднократно изменялось в пределах абсолютных отметок –18...–34 м при средних значениях –25...–30 м [8].

Итак, для Каспия в плейстоцене характерны несколько крупных трансгрессивно-регрессивных циклов. Урунджикская, позднехазарская и новокаспийская трансгрессии представляли собой довольно слабые положительные осцилляции [8].

По результатам проведенного анализа опубликованных материалов были выполнены палеогеографические реконструкции эволюции каспийских бассейнов в плейстоцене.

Позднехазарский бассейн (от 76 ± 4 до 114 ± 4 тыс. лет). Уровень моря достигал отметок современного уровня океана, т.е. превышал современный уровень на 27–28 м. Наиболее обширными площади затопления были в Северном Прикаспии и Кура-Араксинской низменности. Этот бассейн был больше современного Каспия. На затопленных пространствах накапливались пески, известняки-ракушечники, лиманные глины и алевроиты мощностью до 10 м. Поднятые террасы позднего хазара сохранились на отметках 80–85, 100–105 и 120–130 м [3]. Климат был теплым [5]. Преобладали аккумулятивные берега. Наблюдался сток по Манычской долине в карангатский бассейн. На пике карангатской трансгрессии воды из Черного моря через Манычский пролив проникали в западную часть позднехазарского бассейна [7].

Раннехвалынский бассейн отличался самой большой амплитудой изменения уровня и площадью акватории, занимавшей 950 тыс. км². Этот уровень считается катастрофическим, поскольку обширные территории были затоплены за короткое время (считая от предшествовавшего регрессивного уровня ательской регрессии –120...–140 м). По отношению к ней подъем уровня раннехвалынского бассейна составил 170–190 м, а площадь затопления достигла 750–800 тыс. км². Возраст раннехвалынской трансгрессии оценивается от 16–18 до 12–13 тыс. лет. Продолжительность трансгрессии составляла всего несколько тысяч лет, а ее максимальной фазы – еще меньше. Состав малакофауны позволяет утверждать, что соленость была ниже по сравнению с другими бассейнами древнего Каспия, а также с современным. В наибольшую фазу трансгрессии объем сброса каспийских вод через пролив мог достигать 20–40 тыс. м³/с. Температура воды бассейна изменялась с севера на юг от 4 °С до 16 °С, что объясняется большой его протяженностью и поступлением вод по долине Волги [7].

Позднехвалынская трансгрессия была значительно меньше раннехвалынской по высоте (около 0 м н.у.м.), и по амплитуде поднятия уровня по сравнению с предшествовавшей енотаевской регрессией. Возраст этого бассейна соотносится с концом позднего плейстоцена – ранним голоценом.

После енотаевской регрессии наступил значительный подъем уровня моря с амплитудой около 100 м. Это произошло примерно 14–9 тыс. лет назад [8]. Уровень моря установился около 0 м н.у.м. Наблюдалось несколько стадий позднехвалынской трансгрессии, оставивших террасы на абсолютных отметках –2, –11, –16...17 м. Между этими стадиями море отступало до уровня, примерно соответствующего современному. Основной является наиболее высокая терраса, образовавшаяся во время продолжительной трансгрессивной фазы, когда уровень моря был вблизи нулевой отметки. Сток по долине Маныча даже при максимальной стадии отсутствовал. На побережье Каспия верхнехвалынские слои представлены прибрежными и мелководными песками, известняками-ракушечниками, галечниками, местами алевроитами и глинами. Мощность их в среднем 3–5 м, мощность на дне – 2–3 м. Участки Северного Каспия были наиболее опреснены, соленость составляла 10–12 ‰. Температура воды также была близка к современной [7].

Следы древнего Мангышлакского моря отмечаются на современных глубинах 75–80 м, с которыми связаны мелководные прибрежные отложения в краевой зоне шельфа при глубинах моря 90–120 м. Наиболее низким уровнем мангышлакской регрессии был уровень примерно на 80 м ниже современного (около –110 м н.у.м.) Эта регрессия имела несколько стадий. Значительное падение уровня моря было связано с иссушением климата. Весь Северный Каспий представлял собой сушу. Соленость была невысокой и близкой к солености современного Северного Каспия по причине сместившегося в этот район стока Волги. Но в целом Мангышлакский бассейн отличался повышенной соленостью [7].

Завершающая новокаспийская трансгрессия также имела несколько стадий. Г.И. Рычагов [3] выделяет 5 стадий. Первая, произошедшая 9 тыс. лет назад, отмечена уровнем около –25 м, следующая (около 8 тыс. лет назад), максимальная, с уровнем –19...–20 м н.у.м. Установлена дербентская регрессия, предшествовавшая последнему трансгрессивному пику, датированная VIII–IX вв., когда уровень моря снижался до –32...–34 м. Во время других спадов уровень опускался примерно до современного его положения [2]. Наиболее опресненная акватория Северного Каспия была населена представителями пресноводных моллюсков. Соленость новокаспийского бассейна

была близка к современной, опресненные зоны с соленостью менее 10‰ примыкали к дельтам рек и прослеживались до устья Терека [7].

Особенности развития южных внутренних морей в плейстоцене и голоцене были обусловлены несколькими факторами. Одним из факторов – климат. Его влияние на бассейны проявляется как через эвстатические колебания уровня моря, так и через местные климатические условия, определяющие водный баланс водоемов. Эвстатические колебания уровня океана играли основную роль в экологическом состоянии бассейнов. Межледниковым эпохам соответствуют глобальные трансгрессии, а ледниковым эпохам – регрессии. В замкнутых бассейнах типа Каспия глобальные изменения климата сложно взаимодействовали с климатическими условиями водосборного бассейна и акватории, определяя основные черты водного баланса, площадь, уровень, соленость, а через соленость – состав биоценозов и структуру природных комплексов.

История внутренних морей характеризуется чередованием эпох относительно стабильного состояния с эпизодами изменений экологических условий и экосистем. Основными факторами здесь выступают уровень моря и связь с океаническими бассейнами. Колебания уровня были обусловлены глубинами соединительных проливов, наличием связи с океаном, соленостью, фауной, структурой биоценозов и др. Эти качественные смены экосистем, сопровождавшиеся сменой биоценозов, рассматриваются как свидетельства экологических кризисов. Наиболее важным фактором при этом является соленость, в связи с чем различают экологические кризисы осолонения и опреснения. Первые проявляются при резком увеличении солености, при этом менее соленые типы водоемов сокращаются в размерах и оттесняются в устья рек, эстуарии, лиманы. Опреснение же, наоборот, приводит к выравниванию экологических условий.

Существует гипотеза, объясняющая причины возникновения раннехвалынской трансгрессии, основанная на связи с эпохами экстремально высоких половодий и максимального речного стока, выявленных на основе изучения древних речных излучин в долинах рек Европы и Северной Америки. В эпоху 16–13 тыс. лет назад, во время существования раннехвалынского бассейна, годовой сток рек волжского бассейна (Оки, Камы) превышал современный

в 3–3,5 раза, а Волги достигал 585 км³, что выше современного более чем в 2 раза. Это могло повлечь аномально высокую позднехвалынскую трансгрессию. Сверхполоводья, по А.Л. Чепалыге, происходили в переходный период от оледенения к межледниковью, когда еще сохранялась многолетняя мерзлота и коэффициент стока достигал 0,9–0,95, но в условиях деградации ледников в Восточную Европу проникали влажные циклоны [2].

Особенности развития внутренних морей на разных этапах позднего плейстоцена и голоцена отличались от особенностей развития морей, имевших связь с океаном. Микулинское межледниковье в бассейнах, связанных с океаном, сопровождалось крупной трансгрессией, возможно, самой большой в плейстоцене. Прежде всего, она отразилась на уровне водоемов (в изолированных бассейнах типа Каспия фиксируется сравнительно высокий уровень у позднехвалынского бассейна, где он был на 13 м выше современного (–15 м н.у.м.), однако значительного площадного распространения эта трансгрессия не получила, что объясняется возрастанием испарения в условиях значительного потепления климата.

Максимальное похолодание 29–18 тыс. лет назад связано с самой крупной в верхнем плейстоцене регрессией вод Мирового океана и соединенных с ним водоемов. Падение уровня океана достигло значений 135 м и по-разному отразилось на состоянии акваторий. Черное море с мелководным проливом стало полупресноводным бассейном с односторонним сбросом в океан. Образовался своеобразный водоем – озеро-море – новоэвксинский бассейн. В конце верхнего плейстоцена сформировалась обширная система внутренних водоемов, где талые ледниковые воды были доминирующим типом питания. Каспийское море часть вод через систему Мангычско-Керченского пролива сбрасывало в Черное море, откуда через Босфор – в Мраморное море и через Дарданеллы – в Средиземное [7].

Раннехвалынское озеро-море при максимальном уровне +50 м н.у.м. занимало в Каспийской впадине площадь около 1 млн км², объем воды составлял 135 тыс. км³, а глубина – до 1100 м. Это был солоноватоводный проточный водоем. Между раннехвалынским бассейном и новоэвксинским полупресноводным черноморским бассейном в максимальную фазу валдайского оледенения существовал соединительный пролив (или система соединительных бассейнов) –

Манычско-Керченский пролив общей длиной до 1000 км. Начинаясь он на юге Ергеней и проходил по Манычской впадине тектонического происхождения, соответствующей грабеноподобной депрессии северо-западного простирания к югу от кряжа Карпинского. В настоящее время здесь расположены долины Восточного и Западного Манычей и озеро Маныч-Гудило. Далее пролив расширялся до 50–60 км и разделялся на ряд рукавов. Азовского моря не существовало, и по его осушенному дну происходил сброс каспийских вод в долину Керченского пролива и в Черное море. Это был один из длиннейших проливов мира в геологической истории, общая длина которого достигала 1000 км, ширина расширениях – нескольких десятков километров, а в сужениях – нескольких километров. Одно из наиболее узких мест (не более 5 км) находилось в районе тектонического поднятия Зунда-Толга. Цоколь нижнехвалыньских отложений имеет отметку +20 м н.у.м., максимальный уровень +45...+48 н.у.м. Наибольшая глубина могла достигать 25–28 м, средняя – 15–20 м. Скорость течения предположительно менее 0,5 м/с, расходы воды могли достигать 20–40 тыс. м³/с [7].

В начале голоцена уровень океана значительно поднялся в морях, имеющих с ним двухстороннюю связь, повысились соленость и температура. Новозвксинский бассейн имел уровень –50...–60 м н.у.м., площадь – 360 тыс. км², объем пресных вод – около 535 тыс. км³. Однако эпизоды проникновения соленых вод и фауны носили кратковременный характер. Изолированные водоемы в начале голоцена были подвержены значительным колебаниям уровня и регрессиям: уровень Каспия упал до отметки –75 м, площадь сократилась, соленость повысилась – образовался мангышлякский регрессивный бассейн. Регрессия неизбежно была связана с повышением температуры в начале голоцена и возрастанием потерь воды на испарение [7].

Средний голоцен был временем максимального потепления климата и наивысшего уровня океана. Около 6 тыс. лет назад уровень воды достиг современного. В морях с устойчивой связью с океаном в это время отмечается наибольшая по площади фаза морской трансгрессии. Хотя уровень океана не имел максимального значения, площадь все же увеличивалась за счет крупной ингрессии в долины рек. Отмечается повышение температуры водных масс. Произошла активизация теплых течений.

В начале среднего голоцена формируется полуморской каламитский бассейн Черного моря. Изолированные бассейны достигли в это время максимального уровня (новохвалыньская трансгрессия), что связано с возрастанием количества осадков на всей площади водосбора. В позднем голоцене (около 3 тыс. лет назад и позднее) при общем усилении континентальности климата бассейны приобретают современный облик [25]. В середине позднего голоцена в Черном море отмечается повышение уровня на 1–2 м (нимфейская трансгрессия), однако площадное распространение трансгрессии было меньше, чем в среднем голоцене [7]. Прибрежные геосистемы Каспия также обретают современные черты, и уровень моря после уже не поднимается выше –20 м [20].

Современный уровень бассейна Каспия, помимо вышеизложенных глобальных закономерностей, определяется рядом условий и факторов, не имеющих принципиального значения, т.е. не оказывающих решающего влияния на отметки уровня. К таким относятся геолого-тектонические условия котловины: структурные особенности горных пород, колебательные, горизонтальные движения, сейсмические дислокации, разгрузка и инфлюация подземного стока. Влияние же климато-гидрологических условий – мезоклиматических особенностей, циркуляционных процессов атмосферы, величин речного стока (и уравнение водного баланса в целом) – более существенно. Наиболее значительное влияние оказывают изменчивость климата, речной сток и испарение. Как показывает ряд наблюдений, прямое влияние на уровень моря оказала регуляция речного стока с 1930-х гг., что привело к его падению с относительной стабилизацией низких отметок до конца 1970-х гг. Как известно, с конца 1970-х гг. до середины 1990-х гг. уровень моря испытывал довольно резкое повышение, а с 1996 г. снова снижается (по другим данным – стабилен с колебаниями в пределах 0,5 м) [22]. В отношении естественных колебаний некоторыми исследователями дается прогноз, что уровень будет и далее испытывать колебания в пределах отметок –26...–33 м н.у.м. [20].

Высказывается предположение об опосредованном влиянии грязевого вулканизма (и в целом седиментогенеза различных типов) на уровень моря. Существует мнение и о связи циклов солнечной магнитной активности и колебаний уровня Каспия [21].

Кроме перечисленных факторов, на уровень Каспия значительное влияние оказывает антропогенная деятельность. Как указано выше, существенную роль сыграла регуляция стока рек. Локальные изменения уровня связаны с нерациональным преобразованием береговой полосы как следствием неверного проектирования городской застройки, нарушений при строительстве и эксплуатации портовых сооружений, предприятий нефтедобывающей отрасли, жилищно-коммунальной и рекреационной сфер.

Заключение

Каспий как реликтовый водоем Паратетиса прошел несколько стадий эволюции. В ходе трансгрессионно-регрессионных циклов произошло несколько смен колебаний уровня и площади. Реконструкция событий, а главное, поиск их причин – сложная задача, в решении которой определяющую роль играют палинологические, палеогеографические, биостратиграфические исследования, геофизические методы, глубинное бурение, методы абсолютных датировок. Достоверно установлено, что развитие Каспийского бассейна определялось глобальными условиями климата прошлых геологических эпох, циклами оледенений и межледниковий, эвстатическими колебаниями уровня Мирового океана и, как следствие, потерей и восстановлением связи с акваториями Понта и Средиземноморского бассейна. Свидетельствами особенностей, качественных отличий и количественных параметров бассейнов Каспия являются серия морских террас, комплексы древних береговых форм рельефа. Современные кратковременные осцилляции уровня отслеживаются по вдольбереговому положению биоценозов и динамике прибрежных геосистем в целом. Спорадические связи с другими южными морями подтверждаются содержанием в стратиграфических разрезах ископаемой малакофауны, а также характером (составом, крупностью, сортировкой) прибрежных и донных осадков. Нынешний уровень и положение береговой линии Каспийского моря, помимо глобальных закономерностей, определяются современными природными условиями (главным образом климатом, гидрологическим режимом, геологическими особенностями) и интенсивным антропогенным вмешательством в прибрежные природные комплексы. Прослеживается явная связь с космогоническими процессами, но пока она не получила доказательного подтверждения. По наше-

му мнению, множество причин изменения уровня, которые можно рассматривать как по отдельности, так и в совокупности, не отвечают на главный вопрос и являются дискуссионными. С уверенностью можно утверждать, что уровень Каспия испытывает закономерные колебания, которые с некоторой условностью можно считать периодическими («всплески» трансгрессий и регрессий в данном случае – экстремумы, которые осложняются небольшими осцилляциями).

Палеогеографические реконструкции эволюции бассейнов в плейстоцене реализованы при поддержке РНФ (проект 20-17-00060). Используются данные о древних морских террасах, полученные при выполнении темы Госзадания № 0128-2021-0013.

Список литературы / References

1. Чепалыга А.Л., Садчикова Т.А., Адаева Д.О., Идрисов И.А. Понто-Каспий на рубеже неогена и четвертичного периодов // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Серия Естественные и точные науки. 2018. № 3. С. 81–88.
2. Chepalyga A.L., Sadchikova T.A., Adayeva D.O., Idrisov I.A. Ponto-Caspian at the turn of the Neogene and Quaternary periods // Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Seriya Yestestvennyye i tochnyye nauki. 2018. № 3. P. 81–88 (in Russian).
3. Рычагов Г.И. Плейстоценовая история Каспийского моря. М.: Изд-во МГУ, 1997. 267 с.
4. Richagov G.I. Pleistocene history of the Caspian Sea. M.: Izd-vo MGU, 1997. 267 p. (in Russian).
5. Рычагов Г.И. Гирканский этап в истории Каспийского моря // Геоморфология. 2016. № 1. С. 3–17.
6. Rychagov G.I. Hyrcanian stage in the history of the Caspian Sea // Geomorphology. 2016. No. 1. P. 3–17 (in Russian).
7. Федоров П.В. Плейстоцен Понто-Каспия. М.: Наука, 1978. 166 с.
8. Fedorov P.V. Pleistocene of the Ponto-Caspian. M.: Nauka, 1978. 166 p. (in Russian).
9. Каплин П.А., Свиточ А.А., Судакова Н.Г. Материковые оледенения и окраинные морские бассейны России в плейстоцене // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2005. № 1. С. 55–65.
10. Kaplin P.A., Svitoch A.A., Sudakova N.G. Continental glaciations and marginal sea basins of Russia in the pleistocene // Vestnik MGU. Ser. 5. Geographia. 2005. № 1. P. 55–56 (in Russian).
11. Маев Е.Г., Чепалыга А.Л. Каспийское море. Динамика ландшафтных компонентов и внутренних бассейнов Северной Евразии за последние 150000 лет. Атлас-монография «Развитие ландшафтов и климата Северной Евразии. Поздний плейстоцен – голоцен – элементы прогноза». Вып. 2. Общая палеогеография. М.: ГЕОС, 2002. С. 182–190.
12. Mayev E.G., Tchepalyga A.L. Kaspiskoye more. Dynamics of landscape components and internal basins of Northern Eurasia over the past 150000 years. Atlas-monography «Last pleistocene-holocene – forecast elements». Edit. 2. General paleogeography. M.: GEOS, 2002. P. 182–190 (in Russian).
13. Свиточ А.А., Селиванов А.О., Янина Т.А. Бассейны Понто-Каспия и Средиземноморья в плейстоцене (палеогеография и корреляция) // Океанология. 2000. № 6. С. 920–932.
14. Svitoch A.A., Selivanov A.O., Yanina T.A. Ponto-Caspian and Mediterranean basins in the pleistocene (paleogeography correlation) // Okeanologiya. 2000. № 6. P. 920–932 (in Russian).

9. Makshaev R.R., Svitoch A.A., Tkach N.T. Late Pleistocene sedimentation in the Northern Caspian Lowland during the Early Khvalynian transgression. *Limnology and Freshwater Biology*. 2020. No. 4. P. 531–532.
10. Arslanov Kh.A., Yanina T.A., Chepalyga A.L., Svitoch A.A., Makshaev R.R., Maksimov F.E., Chernov S.B., Ter-tyniy N.I., Starikova A.A. On the age of the Khvalynian deposits of the Caspian Sea coasts according to ¹⁴C and ²³⁰Th/²³⁴U methods. *Quaternary International*. 2016. No. 409. P. 81–87.
11. Свиточ А.А. Регрессивные эпохи Большого Каспия // *Водные ресурсы*. 2016. № 2. С. 134–148.
- Svitoch A.A. Regressive periods of the Great Caspian // *Vodnye resursy*. 2016. № 2. P. 134–148 (in Russian).
12. Свиточ А.А. Ископаемые фации Большого Каспия // *Океанология*. 2015. № 3. С. 364–373.
- Svitoch A.A. Fossil facies of the Greater Caspian region // *Oceanologia*. 2015. № 3. P. 364–373 (in Russian).
13. Свиточ А.А., Макшаев Р.Р. Взаимосвязи палеогеографических событий в Понт-Маныч-Каспийской системе в позднем плейстоцене-голоцене // *Вестник МГУ. Сер. 5: География*. № 2. 2017. С. 24–32.
- Svitoch A.A., Makshayev R.R. Relationship of paleogeographic events in the Pont-Manych-Caspian system in the late pleistocene-holocene // *Vestnik MGU. Ser. 5. Geographya*. 2017. № 2. P. 24–32 (in Russian).
14. Свиточ А.А. Маныч: история древних проливов // *Природа*. 2014. № 1. С. 15–23.
- Svitoch A.A. Manych: history of ancient straits // *Priroda*. 2014. № 1. P. 15–23 (in Russian).
15. Курбанов Р.Н., Семиколенных Д.В., Янина Т.А., Тюнин Н.А., Мюррей Э.С. Новые данные о возрасте карангатской трансгрессии Черного моря // *Вестник МГУ. Сер. 5: География*. 2020. № 6. С. 139–145.
- Kurbanov R.N., Semikolennykh D.V., Yanina T.A., Tyunin N.A., Murrey E.S. New data on the age of the Karangat transgression of the Black Sea // *Vestnik MGU. Ser. 5. Geographya*. 2020. № 6. P. 139–145 (in Russian).
16. Спасская И.И., Астахов В.И., Глушкова О.Ю. Развитие ландшафтов и климата Северной Евразии: Поздний плейстоцен-голоцен; элементы прогноза. М.: Наука, 1994. 102 с.
- Spasskaya I.I., Astahov V.I., Glushkova O.Ju. Evolution of landscapes and climate of Northern Eurasia: Late Pleistocene-Holocene; elements of the forecast. M.: Nauka, 1994. 102 p. (in Russian).
17. Янина Т.А. Понто-Каспий в условиях глобальных изменений климата позднего плейстоцена // *Береговая зона – взгляд в будущее: материалы XXV Международной береговой конференции (г. Сочи, 13–17 октября 2014 г.)*. М.: ГЕОС, 2014. С. 48–50.
- Yanina T.A. Ponto-Caspian Sea in the context of global climate changes of the late pleistocene // *Beregovaya zona – vzglyad v budushcheye: materialy XXV Mezhdunarodnoy beregovoy konferentsii (g. Sochi, 13–17 oktyabrya 2014 g.)*. M.: GEOS, 2014. P. 48–50 (in Russian).
18. Янина Т.А. Эволюция природной среды Понто-Каспия в условиях глобальных изменений климата в позднем плейстоцене // *Вестник МГУ. Сер. 5: География*. 2013. № 1. С. 3–16.
- Yanina T.A. Evolution of the natural environment of the Ponto-Caspian Sea under the conditions of global climate changes in the late pleistocene // *Vestnik MGU. Ser. 5. Geographya*. 2013. № 1. P. 3–16. (in Russian).
19. Янина Т.А. Моллюски рода *Didacna* – биостратиграфическая основа корреляции событий неоплейстоцена Понта и Каспия // *Береговая зона – взгляд в будущее: материалы XXV Международной береговой конференции (г. Сочи, 13–17 октября 2014 г.)*. М.: ГЕОС, 2014. С. 51–53.
- Yanina T.A. Genus *didacna* molluscs – biostratigraphical basis for correlation of the Pont and Caspian neopleistocene events // *Beregovaya zona – vzglyad v budushcheye: materialy XXV Mezhdunarodnoy beregovoy konferentsii (g. Sochi, 13–17 oktyabrya 2014 g.)*. M.: GEOS, 2014. P. 51–53 (in Russian).
20. Гусейнова С.А., Абдусаматов А.С. Прогноз динамики уровня Каспийского моря и ее последствия для прибрежных территорий // *Юг России: экология, развитие*. 2015. № 4. С. 119–126.
- Guseinova S.A., Abdusamadov A.S. Forecast on the Caspian sea level and its effects on the coastal territory // *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye*. 2015. № 4. P. 119–126 (in Russian).
21. Ковалев В.В. Факторы эвстазии Каспийского моря // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*. 2003. № 3. С. 110–114.
- Kovalyev V.V. Eustasia factors of the Caspian Sea // *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Yestestvennyye nauki*. 2003. № 3. P. 110–114 (in Russian).
22. Петров К.М., Бананова В.А., Лазарева В.Г., Унагаев А.С. Космический мониторинг динамики тростниковых плавней побережья северо-западного Прикаспия // *Вестник СПбГУ*. 2016. Сер. 7. С. 107–113.
- Petrov K.M., Bananova V.A., Lazareva V.G., Unagaev A.S. Kosmicheskiy monitoring dinamiki trostnikovikh plavney pri-brezhya severo-zapadnogo Prikaspiya. Space monitoring of the dynamics of reed floodplains in the coastal area of the north-western Caspian region // *Vestnik SPbGU*. 2016. Ser. 7. P. 107–113 (in Russian).
23. Табелинова А.С. Геоэкологические процессы на территории северо-восточного Прикаспия (Атырауская и Мангышлакская области Казахстана) // *Вестник МГУ. Сер. 5: География*. 2018. № 1. С. 25–32.
- Tabelinova A.S. Geoecological processes in the north-eastern Caspian region (Atyrau and Mangyshlak regions of Kazakhstan) // *Vestnik MGU. Ser. 5. Geographya*. 2018. № 1. P. 25–32 (in Russian).
24. Волкова Т.А., Мищенко А.А., Антипова Ю.О., Липилин Д.А. Прибрежные геосистемы в пространстве и времени: по материалам Краснодарского края. Краснодар: Просвещение-Юг, 2017. 275 с.
- Volkova T.A., Mishchenko A.A., Antipseva Ju.O., Lipilin D.A. Coastal geosystems in space and time: based on materials of the Krasnodar region. Krasnodar: Prosveshcheniye-Yug, 2017. 275 p. (in Russian).
25. Мищенко А.А., Волкова Т.А., Миненкова В.В., Антипова Ю.О. Палеогеография Черного и Азовского морей и их побережий в плейстоцене и голоцене (в пределах Краснодарского края) // *Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Серия Естественные и точные науки*. 2018. № 1. С. 65–72.
- Mishchenko A.A., Volkova T.A., Minenkova V.V., Antipseva Ju.O. Paleogeography Black and Azov seas and their coasts in the pleistocene and holocene (within Krasnodar region) // *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Seriya Yestestvennyye i tochnyye nauki*. 2018. № 1. P. 65–72 (in Russian).
26. Волкова Т.А., Мищенко А.А. Плейстоценово-голоценовая история формирования и развития Каспийского моря и Западного Прикаспия в пределах РФ и связь с природными процессами // *География: развитие науки и образования: Коллективная монография по материалам ежегодной международной научно-практической конференции. СПб.: Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, 2020. С. 399–403.*
- Volkova T.A., Mishchenko A.A. Pleistocene-Holocene history of the formation and evolution of the Caspian Sea and the Western Caspian Sea within the Russian Federation and connection with natural processes // *Geography: development of science and education: Collective monograph based on the materials of the annual international scientific and practical conference. SPb.: Rossiyskiy gosudarstvennyy pedagogicheskii universitet im. A.I. Gertsena, 2020. P. 399–403 (in Russian).*
27. Мищенко А.А., Волкова Т.А., Кондаршина М.К. К вопросу об использовании терминов береговедения в береговом ландшафтоведении и природопользовании // *Моря России: исследования береговой и шельфовой зон: тезисы докладов Всероссийской научной конференции (г. Севастополь, 21–25 сентября 2020 г.)*. Севастополь: Морской гидрофизический институт РАН. 2020. С. 245–247.
- Mishchenko A.A., Volkova T.A., Kondrashina M.K. To a question of coastal science terms in coastal landscape science and nature management // *Morya Rossii: issledovaniya beregovoy i shel'fovoy zon: tezisy dokladov Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii (g. Sevastopol', 21–25 sentyabrya 2020 g.)*. Sevastopol': Morskoy gidrofizicheskiy institut RAN. 2020. P. 245–247 (in Russian).