

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,778

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,279

**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*

*Чернева Ирина Николаевна, к.с.-х.н.*

*Ответственный секретарь редакции*

*Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.*

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

д.с.-х.н., доцент Абдулвалеев Р.Р. (Уфа); д.г.-м.н., проф., Абилхасимов Х.Б. (Астатна); д.т.н., проф. Айдосов А. (Алматы); д.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. Егорина 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 Кузьяков 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 – 0,778.**

**Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,279.**

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

**Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.**

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

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

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

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

Подписано в печать – 27.02.2020

Дата выхода номера – 27.03.2020

Формат 60x90 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.

Способ печати – оперативный.

Распространение по свободной цене.

Усл. п.л. 12,63

Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/2-2020

Подписной индекс П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

---

## СОДЕРЖАНИЕ

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

СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ И УРОЖАИ КУЛЬТУР ТРЕТЬЕГО ЗВЕНА В ПЯТОЙ РОТАЦИИ ПОЛЕВОГО СЕВООБОРОТА В УСЛОВИЯХ СЕРОЗЕМНО-ЛУГОВЫХ ПОЧВ КЫРГЫЗСТАНА	
<i>Дүйшембиев Н.Д., Джайнакова Г.Б., Шалтыков К.Т., Тургунбаев К.Т.</i>	7
РАБОТА С ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ ЛЕСНОГО ФОНДА	
<i>Клеванский Н.Н., Козаченко М.А., Козаченко Ю.В., Мавзовин В.С.</i>	13
ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ГЕОАКТИВНЫХ ЗОН НА РОСТ СОСНЫ	
<i>Рогозин М.В.</i>	19
АЛЛОТРИПЛОИДНЫЕ КЛОНЫ ТОПОЛЯ СЕРЕЮЩЕГО ( <i>POPULUS CANESCENS</i> SM.), ОТОБРАННЫЕ В ПОЙМЕ ХОПРА И ДОНА – КРУПНОЕ ДОСТИЖЕНИЕ КАФЕДРЫ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР В СЕЛЕКЦИОННОМ ЛЕСОВОДСТВЕ	
<i>Сиволапов А.И.</i>	25
РЕГУЛЯРНЫЙ ДЕНДРОПАРК СТАВРОПОЛЬСКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА	
<i>Храпач В.В., Гудиев О.Ю.</i>	31

**Науки о Земле (25.00.00)****СТАТЬИ**

МЕТОДИКА ДИАГНОСТИКИ ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И НЕИСПРАВНОСТЕЙ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ (УЭЦН) В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОМЫСЛОВЫХ, ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ И ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ	
<i>Большунов А.В., Мостакалов К.А.</i>	39
ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ НАЗЕМНЫХ ЛАНДШАФТОВ: ОТ БАЛЛЬНЫХ ОЦЕНОК К КОМПОЗИТНЫМ ИНДЕКСАМ НА ОСНОВЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ДЕТЕРМИНАНТ	
<i>Дмитриев В.В., Огурцов А.Н., Седова С.А., Алексеева А.А., Байжанова К.К., Грига С.А., Кислина А.Е.</i>	45
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СОЧЕТАНИЯ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД АККУМУЛЯТОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА	
<i>Качалова Г.С.</i>	54
КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНОГО БАЛАНСА ЛОКАЛЬНЫХ РЕЧНЫХ ГЕОСИСТЕМ	
<i>Луговской А.М., Купрюшин А.П.</i>	60
ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛГОТЫ В ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧКАХ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ РУСЛА МАЛОЙ РЕКИ ИРОВКА	
<i>Мазуркин П.М., Георгиева Я.О.</i>	66
ПРОЯВЛЕНИЕ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА АВТОТРАССЕ «КОЛЫМА» (ЯКУТСК – МАГАДАН)	
<i>Поморцева А.А., Поморцев О.А., Поспехов Г.Б., Кондакова В.Н.</i>	73

---

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВОДНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ДАЙВИНГА

*Сирота Е.Н., Черунова И.В.* .....79

МИНЕРАЛЬНО-РЕСУРСНЫЕ РАЙОНЫ ТИХООКЕАНСКОЙ РОССИИ

*Ткаченко Г.Г.* .....84

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДОННЫХ ПЕСЧАНЫХ  
ОТЛОЖЕНИЙ КАЛИНИНГРАДСКОГО ЗАЛИВА

*Чечко В.А., Бабаков А.Н., Топчая В.Ю.* .....91

ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА ЛЕСОВ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ  
ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ

*Щеглова Е.Г.* .....97

---

**CONTENTS**
**Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)**
**ARTICLES**

THE SYSTEMS OF FERTILIZER AND HARVESTS OF CULTURES OF THE THIRD LINK IN THE FIFTH ROTATION OF FIELD CROP ROTATION IN THE CONDITIONS OF SIEROZEMIC AND MEADOW SOILS OF KYRGYZSTAN	
<i>Duyshembiev N.D., Dzhaynakova G.B., Shalpykov K.T., Turgunbaev K.T.</i>	7
WORK WITH GEOMETRICAL OBJECTS OF FOREST FUND	
<i>Klevanskiy N.N., Kozachenko M.A., Kozachenko Yu.V., Mavzovin V.S.</i>	13
THE EFFECT OF THE SMALL GEOACTIVE AREAS FOR GROWTH OF THE PINES	
<i>Rogozin M.V.</i>	19
ALLOTROPLOID CLONES OF GRAY POPULAR ( <i>POPULUS CANESCENS</i> SM.) SELECTED IN THE FLOODPLAIN OF THE KHOPER AND DON RIVERS – LARGE ACHIEVEMENT IN SELECTIVE FORESTRY OF THE DEPARTMENT OF FOREST CULTURES	
<i>Sivolapov A.I.</i>	25
REGULAR DENDROPARK OF THE STAVROPOL BOTANICAL GARDEN	
<i>Khrapach V.V., Gudiev O.Yu.</i>	31

**Earth sciences (25.00.00)**
**ARTICLES**

METHODOLOGY FOR REAL-TIME DIAGNOSTICS OF ACTUAL STATE AND FAULTS OF ELECTRIC CENTERING PUMP PLANTS USING FIELD, ELECTRICAL AND GEOLOGICAL PARAMETERS	
<i>Bolshunov A.V., Mostakalov K.A.</i>	39
INTEGRAL ASSESSMENT OF THE STABILITY OF GROUND LANDSCAPES: FROM SCORE ASSESSMENTS TO COMPOSITE INDICES BASED ON TERRITORIAL DETERMINANTS	
<i>Dmitriev V.V., Ogurtsov A.N., Sedova S.A., Alekseeva A.A., Bayzhanova K.K., Griga S.A., Kislina A.E.</i>	45
SELECTION OF OPTIMAL COMBINATION OF REAGENTS FOR TREATMENT OF WASTE WATER OF ACCUMULATOR PRODUCTION	
<i>Kachalova G.S.</i>	54
CONCEPTUAL MODEL OF FORMATION OF WATER BALANCE OF LOCAL RIVER GEOSYSTEMS	
<i>Lugovskoy A.M., Kupryushin A.P.</i>	60
WAVELET ANALYSIS OF EAST LONGITUDE AT CHARACTERISTIC POINTS OF THE LONGITUDINAL PROFILE SMALL RIVER IROVKA	
<i>Mazurkin P.M., Georgieva Ya.O.</i>	66
MANIFESTATION OF DANGEROUS GEOLOGICAL PROCESSES ON THE KOLYMA HIGHWAY (YAKUTSK – MAGADAN)	
<i>Pomortseva A.A., Pomortsev O.A., Pospelkov G.B., Kondakova V.N.</i>	73

---

STADY OF THE PROPERTIES OF THE WATER ENVIRONMENT FOR DIVING

*Sirota E.N., Cherunova I.V.* .....79

MINERAL RESOURCE REGIONS OF PACIFIC RUSSIA

*Tkachenko G.G.* .....84

DISTRIBUTION AND GRAIN SIZE COMPOSITION OF BOTTOM SANDY SEDIMENTS  
OF THE KALININGRAD BAY

*Chechko V.A., Babakov A.N., Topchaya V.Yu.* .....91

CHANGES IN THE QUALITY OF FORESTS IN THE ORENBURG REGION  
UNDER THE INFLUENCE OF NATURAL FACTORS

*Scheglova E.G.* .....97

СТАТЬИ

УДК 631.8:631.524.84(575.2)

**СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ И УРОЖАИ КУЛЬТУР ТРЕТЬЕГО ЗВЕНА  
В ПЯТОЙ РОТАЦИИ ПОЛЕВОГО СЕВООБОРОТА В УСЛОВИЯХ  
СЕРОЗЕМНО-ЛУГОВЫХ ПОЧВ КЫРГЫЗСТАНА**

<sup>1</sup>Дуйшембиев Н.Д., <sup>1</sup>Джайнакова Г.Б., <sup>2</sup>Шалпыков К.Т., <sup>1</sup>Тургунбаев К.Т.

<sup>1</sup>*Кыргызский национальный аграрный университет им. К.И. Скрябина,  
Бишкек, e-mail: knau-info@mail.ru;*

<sup>2</sup>*Институт химии и фитотехнологий Национальной академии наук,  
Бишкек, e-mail: alhor6464@mail.ru*

В данной статье представлены материалы по урожайности культур в полевом севообороте (яровой ячмень, люцерна) в зависимости от систем удобрений в третьем звене в пятой ротации севооборота в сероземно-луговых почвах Чуйской долины Кыргызстана. В результате многолетних исследований нами разработана система удобрений культур в полевых севооборотах, позволяющих в комплексе с другими приемами агротехники получить в зависимости от предшественников и ротаций в луговой зоне Кыргызстана урожай зерна ярового ячменя 3,5–4,0 т/га, сена люцерны 9–10 т/га при одновременном улучшении их качества. Длительное применение различных систем удобрений в севооборотах по разным предшественникам положительно сказалось на продуктивности культур. Яровой ячмень по старопашке в начале ротации на внесение удобрений слабо реагирует, а в пятой ротации зависимость между удобрениями и урожаем зерна культуры существенная. У люцерны первого и второго года пользования под влиянием удобрений наибольшая прибавка урожая сена отмечена в пятой ротации севооборота. В базовом стационаре Геосети опытов по изучению системы удобрения культур свекловичного севооборота, исследования проводились на трех последовательно заложённых полях девятипольного свекловичного севооборота. Без удобрения в условиях девятипольного свекловичного севооборота возможно получение урожая зерна ярового ячменя 2,3 т/га и сена люцерны 16,6 т/га. Наблюдается снижение урожая всех культур независимо от предшественников от первой к последней ротации севооборота. Под влиянием различных систем удобрений в зависимости от предшественников и ротаций севооборота прибавки урожая колебались в следующих пределах зерна ярового ячменя – 0,2–2,1 т, сена люцерны за два года пользования – 0,2–5,4 т/га.

**Ключевые слова:** удобрения, урожай, ротация, звено, севооборот, почва, коэффициенты корреляции и регрессии

**THE SYSTEMS OF FERTILIZER AND HARVESTS OF CULTURES  
OF THE THIRD LINK IN THE FIFTH ROTATION OF FIELD CROP ROTATION  
IN THE CONDITIONS OF SIEROZEMIC AND MEADOW SOILS OF KYRGYZSTAN**

<sup>1</sup>Duyshembiev N.D., <sup>1</sup>Dzhaynakova G.B., <sup>2</sup>Shalpykov K.T., <sup>1</sup>Turgunbaev K.T.

<sup>1</sup>*Kyrgyz National Agricultural University of K.I. Scriabin, Bishkek, e-mail: knau-info@mail.ru;*

<sup>2</sup>*Institut Chemistry and Phytotechnologies of National Academy of Sciences,  
Bishkek, e-mail: alhor6464@mail.ru*

This article presents materials on crop yields in field crop rotation (spring barley, alfalfa) depending on fertilizer systems in the third link in the fifth rotation of crop rotation in gray earth meadow soils of the Chui valley of Kyrgyzstan. As a result of many years of research, we developed a system of crop fertilizers in field crop rotation, which, in combination with other agricultural techniques, allows to obtain, depending on the predecessors and rotations in the meadow zone of Kyrgyzstan, spring barley grain crops of 3.5-4.0 t / ha, alfalfa hay 9-10 t / ha while improving their quality. Long-term use of various fertilizer systems in crop rotations according to different predecessors had a positive effect on crop productivity. Old-barley spring barley reacts poorly to fertilizer application at the beginning of rotation, and in the fifth rotation, the relationship between fertilizers and crop yield is significant. Alfalfa in the first and second years of use, under the influence of fertilizers, showed the greatest increase in hay yield in the fifth rotation of the crop rotation. In the base station of the GeoNet network of experiments on studying the fertilizer system of beet crop rotation crops, the studies were conducted on three successively laid fields of a nine-field beet crop rotation. Without fertilizer, in conditions of a nine-field beet rotation, it is possible to obtain a grain yield of spring barley of 2.3 t / ha and alfalfa hay of 16.6 t / ha. There is a decrease in the yield of all crops, regardless of their predecessors, from the first to the last rotation of the crop rotation. Under the influence of various fertilizer systems, depending on the precursors and rotation of the crop rotation, crop yields fluctuated within the following limits of spring barley grain – 0.2-2.1 t, alfalfa hay for two years of use – 0.2-5.4 t / ha.

**Keywords:** fertilizers, crop, rotation, link, crop rotation, soil, correlation and regression coefficients

Продуктивность культур в севооборотах зависит от предшественников, поливов, видов, норм и сочетаний удобрений, а также от длительности их применения [1–3]. Это установлено для различных почвенно-

климатических условий в исследованиях с яровым ячменем [4–8], с люцерной [9, 10]. Длительное применение удобрений повсеместно повышало урожайность почти всех культур севооборота, в том числе вышеназ-

ванных культур, отмечено Ю.И. Ермохиным [11]. Применение удобрений повышает урожай зерна ярового ячменя, что установлено в различных почвенно-климатических условиях [12–14].

В условиях широко распространенных сероземно-луговых почв Кыргызстана эффективность применения удобрений под культуры свекловичных севооборотов длительное время оставалась неизученной. Поэтому в 1967 г. с этой целью кафедрой агрохимии Кыргызского сельскохозяйственного института им. К.И. Скрябина под руководством доктора сельскохозяйственных наук, профессора Н.И. Кузнецова заложен стационарный опыт по изучению системы удобрения культуры полевого свекловичного севооборота на опытном поле учебно-опытного хозяйства. Он действует и в настоящее время, где завершена пятая ротация. В бывшем СССР стационар считался базовым и входил в состав Геосети опытов с удобрениями ВИУА им. Д.Н. Прянишникова.

Целью исследований является разработка в условиях сероземно-луговых почв Кыргызстана, при девятипольном полевом севообороте научно обоснованной системы удобрения ярового ячменя и люцерны.

В задачу исследований стационарного опыта по изучению системы удобрения культур свекловичных севооборотов на сероземно-луговых почвах Кыргызстана входит следующее:

1. Разработать систему удобрения в севооборотах, позволяющую в комплексе с орошением и другими приемами агротехники получать в зависимости от пред-

шественников и ротаций в луговой зоне Кыргызстана урожаи зерна ярового ячменя – 3,5–4,0 т/га, сена люцерны 9,0–10,0 т/га при одновременном улучшении их качества.

2. Определить наличие коррелятивных связей между удобрениями, агрохимическими и биохимическими показателями с помощью статистических методов корреляции и регрессии.

#### Материалы и методы исследования

В базовом стационаре Геосети опыты по изучению системы удобрения культур свекловичного севооборота исследования проводились на трех последовательно заложённых полях девятипольного свекловичного севооборота.

Нормы удобрений по вариантам приведены в табл. 1. В пятой ротации севооборота возделывались следующие сорта и гибриды культур: ярового ячменя – Россава, люцерны – Токмакская, Место выполнения исследований – опытное поле учебно-опытного хозяйства Кыргызского аграрного университета и лаборатория кафедры агрохимии.

Размер посевных делянок 226,8 м<sup>2</sup> (длина – 27 м; ширина – 8,4 м), в том числе учетных – на яровом ячмене – 100 м<sup>2</sup>, на люцерне – 103,4 м<sup>2</sup>. Повторность опыта – четырехкратная. Расположение делянок – многорядно-ступенчатое. Орошение – на пропашных культурах по бороздам, нормы вегетационных поливов следующие, под яровой ячмень – 600–700 м<sup>3</sup>/га, люцерну – 700–800 м<sup>3</sup>/га. Влажность почвы подерживалась на уровне 60–70% НВ.

Таблица 1

Схема закладки опыта

№	Названия системы удобрения	Нормы удобрений
1	Контроль	P15 – при посеве
2	Минеральная – 1,5N	N75P140K60
3	Минеральная – 1,5P	N50P210K60
4	Органо-минеральная система (30 т/га Н) под первую кукурузу	N50P140K60
5	Органо-минеральная система (60 т/га Н) под первую и вторую кукурузу	N50P140K60
6	Эквивалентная минеральная система по навозу (30 т/га) под первую кукурузу	N50P140K60
7	Контроль	P15 – при посеве
8	Полная минеральная система	N50P140K60
9	Минеральная система без N	P140K60
10	Минеральная система без P	N50P15K60
11	Минеральная система без K	N50P140
12	Полуторная минеральная система	N75P210K90
13	Минеральная система удобрения (P в запас)	N50P140K60
14	Двойная минеральная система	N100P280K120

В опыте применялись следующие виды удобрений: аммиачная селитра – 34% N, суперфосфат простой гранулированный – 14 и 19,5% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, хлористый калий – 55% K<sub>2</sub>O. Способы внесения удобрений: ячмень + люцерна – основное удобрение под зяблевую вспашку на глубину 22–25 см, припосевное P<sub>15</sub>. Дозы удобрений по срокам вносятся согласно схеме опыта.

В вегетационный период отбирались почвенные и растительные образцы со всех вариантов с целью установления влияния видов, норм и сочетаний удобрений: на основные показатели плодородия почвы, на содержание NPK в растениях и вынос их урожаем.

Обработка почвы и уход за посевами культур базового стационара осуществлялись в соответствии с общепринятыми агроправилами.

Отбор почвенных и растительных образцов проводился в начале, середине и в конце вегетации.

Урожай учитывался сплошным методом с учетной делянки.

Математическая обработка урожайных данных проводилась методом дисперсионного анализа, связи между удобрениями, агрохимическими и биохимическими показателями устанавливались статистическими методами корреляции и регрессии.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Яровой ячмень при урожае зерна без удобрений в 2,29 т/га на удобренных фонах после кукурузы на зерно формирует от 2,49 до 4,38 т/га зерна (табл. 2). На продуктивность культуры наилучшим образом повлияло внесение N<sub>50</sub>P<sub>140</sub>K<sub>60</sub> с учетом потребности в элементах питания подпокровной люцерны на два года пользования. При этом урожай увеличился до 4,38 т/га, прибавка урожая составила 2,09 т/га от контроля. Замечено, что в целом на продуктивность культуры положительно действовало внесение полного набора элементов питания в составе удобрений.

Повышенные урожаи зерна отмечались от применения эквивалентной, минеральной (1,5 P), полуторной, двойной и органо-минеральной (60 и 30 т/га Н) систем удобрений, где прибавки соответственно достигали 1,70; 1,66; 1,4; 1,43; 1,42 и 1,37 т/га. При этом между удобрениями и продуктивностью ячменя обнаружено наличие существенной коррелятивной

зависимости ( $r = 0,674$ ). После кукурузы, которая с урожаем выносит большое количество элементов питания, яровой ячмень нуждается в первую очередь в улучшении азотного питания и за счет азота урожай зерна увеличивается на 1,89 т/га.

При этом между дозами азота в удобрении и урожаем зерна отмечена существенная связь ( $r = 0,681$ ). Вторую по величине прибавку урожая обеспечивает применение фосфора (1,65 т/га), при этом сопряженность между дозами фосфора и урожаем зерна по сравнению с азотом несколько ослабевает ( $r = 0,617$ ). За счет внесения калия урожай зерна ячменя увеличивается на 1,33 т/га, а коррелятивная зависимость между дозами калия и урожаем зерна слабее, чем в отношении фосфора ( $r = 0,531$ ).

Длительное выращивание культур, в том числе люцерны, без удобрений приводит к снижению урожая (табл. 2).

Урожай сена люцерны первого года пользования от ротации к ротации севооборота снижается. Этот показатель в пятой ротации составил 7,68 т/га, а в третьей и четвертой соответственно 10,96 и 8,22 т/га. В отличие от других ротаций по последствию видов, норм, соотношений и сочетаний удобрений размеры прибавки урожая от них значительно увеличились. При урожае сена 10,75 т/га наибольшая прибавка сена (3,07 т/га) получена по последствию одинарной нормы полного минерального удобрения. Урожай сена увеличился также по последствию эквивалентной, минеральных (1,5 N) и (1,5 P), двойной минеральной и органо-минеральной (60 и 30 т/га Н) систем. От полуторной нормы удобрений урожай сена несколько снизился. Положительное действие удобрений на урожай сена подтверждается наличием между ними средней коррелятивной зависимости ( $r = 0,513$ ). Последствие парных сочетаний удобрений сильно проявилось на урожае сена люцерны первого года пользования в пятой ротации севооборота. При этом растения люцерны ощутили недостаток всех трех основных элементов питания и в первую очередь фосфора, где урожай на азотно-калийном фоне снизился даже в сравнении с контролем. За счет внесения фосфора урожай сена увеличился на 3,31 т/га, азота – на 2,19 т/га и калия – на 1,93 т/га. Наличие средней коррелятивной зависимости отмечено между урожаем сена и дозами фосфора ( $r = 0,572$ ), азота ( $r = 0,354$ ) и калия ( $r = 0,304$ ).

**Таблица 2**  
**Нормы удобрений (кг/га) и урожаи культур (т/га) третьего звена в пятой ротации севооборота (среднее за 3 года)**

Система удобрения	Яровой ячмень				Люцерна 1 года пользования*			Люцерна 2 года пользования**			За 2 года		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	урожай	прибавка	урожай	прибавка	урожай	прибавка	урожай	прибавка	урожай	прибавка
Контроль	–	15	–	2,29	–	7,68	–	–	8,90	–	–	16,58	–
Минеральная 1,5 N	75	140	60	3,57	1,28	9,52	1,84	1,67	10,57	1,67	1,67	20,09	3,51
Минеральная 1,5 P	50	210	60	3,95	1,66	9,55	1,87	1,56	10,46	1,56	1,56	20,01	3,43
Органо-минеральная (30 т/га N)	50	140	60	3,66	1,37	9,30	1,62	0,77	9,67	0,77	0,77	18,97	2,39
Органо-минеральная (60т/га N)	50	140	60	3,71	1,42	9,53	1,85	1,10	10,00	1,10	1,10	19,53	2,95
Эквивалентная по навозу	50	140	60	3,99	1,70	9,62	1,94	1,22	10,12	1,22	1,22	19,74	3,16
Полная минеральная	50	140	60	4,38	2,09	10,75	3,07	2,32	11,22	2,32	2,32	21,97	5,39
Минеральная без N	–	140	60	2,49	0,20	8,56	0,88	1,60	10,50	1,60	1,60	19,06	2,48
Минеральная без P	50	15	60	2,73	0,44	7,44	–	0,47	9,37	0,47	0,47	16,81	0,23
Минеральная без K	50	140	–	3,05	0,76	8,82	1,14	1,90	10,80	1,90	1,90	19,62	3,04
Полуторная минеральная	75	210	90	3,83	1,54	8,51	0,83	1,45	10,35	1,45	1,45	18,86	2,28
Минеральная (P в 3 срока за ротацию)	50	140	60	4,02	1,73	9,55	1,90	2,06	10,96	2,06	2,06	20,54	3,96
Двойная минеральная	100	280	120	3,72	1,43	9,36	1,68	1,20	10,10	1,20	1,20	19,46	2,88
НСР <sub>05</sub> , т/га				0,396–0,470		0,38–0,76			0,192–0,77				
Sx, %				3,68–5,3		2,9–4,1			4,74–7,6				

Примечание: \* – Данные за 2 года\*\* – то же самое.

Урожай сена люцерны второго года пользования на всех фонах по сравнению с первым годом значительно повысился и на контроле составил 8,90 т/га (прибавка 1,22 т/га). По последствию удобрений собрано от 9,37 т/га до 11,22 т/га сена. При этом максимальная прибавка урожая сена в 2,32 т/га получена по последствию полной минеральной системы. Вторая по величине прибавка (2,06 т/га) обеспечена с внесением Р в три фона за ротацию, затем (1,90 т/га) при минеральной системе без калия. При минеральной системе (1,5 N), (1,5 P) без применения азота и при полуторной норме минеральных удобрений также были получены повышенные урожаи сена. При двойной, эквивалентной и органо-минеральной (30 и 60 т/га N) системах удобрений размеры прибавки урожая сена находились в пределах 0,77–1,22 т/га. Связь между количеством удобрений и урожаем сена средняя ( $r = 0,453$ ). Как и в предыдущих ротациях, продуктивность люцерны растет, прежде всего, от применения фосфорных туков. За счет фосфора обеспечено увеличение урожая сена на 1,85 т/га ( $r = 0,560$ ). Дозы азота и калия с урожаем сена во втором году пользования коррелируют очень слабо.

За два года пользования люцерны по последствию удобрений на различных фонах увеличивает прибавки урожая сена от 0,23 до 5,39 т/га. Причем наилучший результат достигнут по последствию полной минеральной системы. Минеральные системы (Р в три срока за ротацию), (1,5 N), (1,5 P), эквивалентная и минеральная система без калия также значительно повысили продуктивность культуры, соответственно на 3,96; 3,51; 3,43; 3,16 и 3,04 т/га. Увеличение норм удобрений в полтора и два раза по последствию обеспечили прибавку 2,28 и 2,88 т/га. По последствию органо-минеральных систем (30 и 60 т/га N) получено соответственно 2,39 и 2,95 т/га сена. Влияние последствия удобрений на урожай сена люцерны за два года пользования характеризуется наличием средней связи между ними ( $r = 0,526$ ).

За два года пользования в увеличении урожая сена люцерны значительное влияние оказывает применение фосфора, при этом урожай увеличивается на 5,16 т/га сена, по данным корреляционного анализа зависимость между дозами этого элемента и урожаем сена средняя ( $r = 0,614$ ). К концу пятой ротации азотные удобрения увеличивают урожай сена люцерны на 2,91 т/га при  $r = 0,338$  между дозами азота и продуктив-

ностью люцерны. За счет калия урожай увеличивается на 2,35 т/га ( $r = 0,269$ ).

По старопашке (по пропашному предшественнику) урожай ярового ячменя порядка 4,00–4,50 т/га обеспечивается при внесении  $N_{50}P_{140}K_{60}$  с учетом потребности подпокровной люцерны на два года пользования. Яровой ячмень при этом нуждается во всех трех элементах питания и в первую очередь в азоте.

За это время наиболее достоверное увеличение урожая сена люцерны первого года пользования получено по последствию полного набора элементов питания. При этом максимальная прибавка урожая сена составила 3,07 т/га в последствии  $N_{50}P_{140}K_{60}$ . Урожай сена увеличивается, прежде всего, за счет фосфора. Азот и калий также значительно влияют на этот показатель. И на втором году пользования люцерны урожай сена был максимальным по последствию вышеназванной системы удобрений. Положительное действие фосфора на урожай сена также очевидно по сравнению с азотом и калием. За два года пользования люцерны при урожае сена 21,97 т/га наибольшая прибавка (5,39 т/га) получена по последствию  $N_{50}P_{140}K_{60}$ . Урожай сена повышается в первую очередь за счет применения фосфора. Внесение азотных и калийных удобрений также необходимо.

Изучение влияния систем удобрения на продуктивность культур в третьей звене пятой ротации свекловичного севооборота, в условиях сероземно-луговых почв позволило сделать следующие выводы:

### Выводы

1. Без применения удобрений в условиях девятипольного севооборота по различным предшественникам получение урожаев зерна ярового ячменя – 2,29 т/га и сена люцерны за два года пользования – 16,58 т/га. Наблюдается снижение урожая всех культур независимо от предшественников от первой к последней ротации севооборота.

2. Длительное применение различных систем удобрений в севооборотах по разным предшественникам положительно сказалось на продуктивности культур. Яровой ячмень по старопашке в начале ротации на внесение удобрений слабо реагирует, а в пятой ротации зависимость между удобрениями и урожаем зерна культуры существенная. У люцерны первого и второго года пользования под влиянием удобрений наибольшая прибавка урожая сена отмечена в пятой ротации севооборота.

3. Под влиянием различных систем удобрений в зависимости от предшественников и ротаций севооборота прибавки урожая колебались в следующих пределах зерна ярового ячменя – 0,20–2,09 т, сена люцерны за два года пользования – 0,23–5,39 т/га.

4. В зависимости от вышеназванных условий применение азотных удобрений увеличивало урожай зерна ярового ячменя – на 0,09–1,89 т, сена люцерны – на 0,07–2,91 т/га. Под влиянием фосфорных удобрений эти показатели соответственно составляли 0,63–1,65 т и 0,97–5,16 ц/га. Калийные удобрения повышали урожай зерна ярового ячменя – на 0,36–1,33 т/га и сена люцерны – на 0,06–2,35 т/га (за два года пользования).

5. По старопашке под яровой ячмень с подсевом люцерны в пятой ротации эффективно внесение полной минеральной системы ( $N_{50}P_{140}K_{60}$ ), где урожай зерна составил 4,38 т/га.

6. По последствию удобрений урожай сена люцерны, в пятой ротации севооборота в первый и второй годы пользования люцерны на сено продуктивность культуры была наибольшей по последствию полной минеральной системы (соответственно 10,75 и 11,22 т/га). При этом за два года пользования получено 21,97 т/га сена люцерны.

7. На урожай культур севооборотов положительное действие оказали полуторная, двойная, эквивалентная и органо-минеральные системы удобрения, а также минеральные системы  $1,5 N$ ,  $1,5 P$ , но они по сравнению с полной минеральной системой в целом преимуществ не имели. В течение всех ротаций высокие урожаи культур севооборотов обеспечены при полной минеральной системе удобрений.

8. Оптимальные системы удобрения, в сочетании с орошением и другими приемами агротехники, повышают продуктивность культур свекловичных севооборотов.

#### Список литературы / References

1. Гринет Л.В. Эффективность использования минеральных удобрений под зерновые культуры на черноземе Казахстана: дис. ... канд. с.-х. наук. Троицк, 2009. 200 с.
- Grinets L.V. Efficiency of use of mineral fertilizers under grain crops on chernozems of Kazakhstan: dis. ... kand. s.-kh. nauk. Troitsk, 2009. 200 p. (in Russian).
2. Лапа В.В., Ивахненко Н.Н. Продуктивность севооборотов и изменение плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном применении удобрений // Агротехника. 2012. № 9. С. 41–48.
- Lapa V.V., Ivakhnenko N.N. Produktivnost of crop rotations and change fertility of the cespitose and podsolic sandy soil at prolonged use of fertilizers // Agrochemistry. 2012. № 9. P. 41–48 (in Russian).
3. Жумабеков Э.Ж. Проблемы горного почвоведения в работах академика А.М. Мамытова // Вестник КНАУ. 2017. № 2. С. 15–21.
- Zhumabekov E.Zh. Problems of mountain soil science in works of the academician A.M. Mamytov // Vestnik KNAU. 2017. № 2. P. 15–21 (in Russian).
4. Кузьменко Н.Н. Агротехнические свойства почвы и баланс питательных веществ при различных системах удобрений // Плодородие. 2010. № 1. С. 20–21.
- Kuzmenko N.N. Agrochemical properties of the soil and balance of nutrients at various systems of fertilizers // Plodorodiye. 2010. № 1. P. 20–21 (in Russian).
5. Дуйшембиев Н.Д. Оптимизация системы удобрения культур свекловичных севооборотов в Кыргызстане. Бишкек: Турар, 2002. 134 с.
- Duyshembiyev N.D. Optimization of a system of fertilizer of cultures of beet crop rotations in Kyrgyzstan. Bishkek: Turar, 2002. 134 p. (in Russian).
6. Дуйшембиев Н.Д. Научные основы питания и удобрения культур свекловичных севооборотов на сероземно-луговых почвах Кыргызстана: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук: 06.01.04. Бишкек, 2007. 48 с.
- Duyshembiyev N.D. Scientific bases of food and fertilizer of cultures of beet crop rotations on sierozemic and meadow soils of Kyrgyzstan: avtoref. dis. ... dokt. s.-kh. nauk: 06.01.04. Bishkek, 2007. 48 p. (in Russian).
7. Ахметгараяев Р.Н. Эффективность способов азотных подкормок ярового ячменя в условиях Предкамья Республики Татарстан: дис. ... канд. с.-х. наук. Казань, 2011. 138 с.
- Akhmetgarayev R.N. Efficiency of ways of nitric fertilizing of summer barley in conditions Predkamyia of the Republic of Tatarstan: dis. ... kand. s.-kh. nauk. Kazan, 2011. 138 p. (in Russian).
8. Бельдяева К.Ю. Использование растениями ячменя и овса фосфора и калия из подпахатных горизонтов дерново-подзолистой почвы // Плодородие. 2015. № 5. С. 46–48.
- Beldyaeva K.Y. Utilization of phosphorus and potassium from different horizons of soddy-podzolic soils by barley and oat plants // Plodorodiye. 2015. № 5. P. 46–48 (in Russian).
9. Бубнова В.Н. Влияние длительного применения удобрений и мелиорантов на продуктивность многолетних трав и воспроизводство плодородия дерново-подзолистых почв Республики Коми: дис. ... канд. с.-х. наук. Москва, 2010. 102 с.
- Bubnova V.N. Influence of prolonged use of fertilizers and ameliorants on efficiency of long-term herbs and reproduction of fertility of cespitose and podsolic soils of the Komi Republic: dis. ... kand. s.-kh. nauk. Moscow, 2010. 102 p. (in Russian).
10. Лукьянова Е.Н. Действие и последствие удобрений на продуктивность люцерны, выращиваемой под покровом ярового ячменя на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья: автореф. дис. ... канд. с.-х. н. Краснодар, 2019. 26 с.
- Lukyanova E.N. Effect and aftereffect of fertilizers on the productivity of alfalfa grown under the cover of spring barley on leached chernozem of the Western Ciscaucasia: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk. Krasnodar, 2019. 26 p. (in Russian).
11. Ермохин Ю.И. Экспресс методы химической диагностики потребности сельскохозяйственных культур в удобрениях: учебное пособие. Омск, 2010. 120 с.
- Ermokhin Yu.I. Express methods of chemical diagnostics of need of crops for fertilizers. Manual. Omsk, 2010. 120 p. (in Russian).
12. Кузьменко Н.Н. Плодородие дерново-подзолистой почвы при длительном применении различных систем удобрений // Агротехника. 2010. № 4. С. 11–17.
- Kuzmenko N.N. Fertility of Soddy-Podzolic Soil under the Long-Term Application of Different Fertilizing Systems // Agrochemistry. 2010. № 4. P. 11–17 (in Russian).
13. Ярцев Г.Ф. Технологические приемы формирования высокопродуктивных посевов яровой пшеницы, ячменя и кукурузы в степной зоне Южного Урала: дис. ... докт. с.-х. наук. Оренбург, 2011. 237 с.
- Yartsev G.F. Processing methods of formation of highly productive crops of spring-sown field, barley and corn in a steppe zone of South Ural: dis. ... doct. s.-kh. nauk. Orenburg, 2011. 237 p. (in Russian).
14. Хаирова Н.И. Эффективность совместного применения азотных удобрений и химических средств защиты растений под ячмень на дерново-подзолистой суглинистой почве: дис. ... канд. с.-х. наук. Москва, 2014. 137 с.
- Hairova N.I. Efficiency of combined use of nitrogen fertilizers and chemical means of protection of plants under barley on the cespitose and podsolic loamy soil: dis. ... kand. s.-kh. nauk. Moscow, 2014. 137 p. (in Russian).

УДК 630\*945.14:631.15:65.011

## РАБОТА С ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ ЛЕСНОГО ФОНДА

<sup>1</sup>Клеванский Н.Н., <sup>1</sup>Козаченко М.А., <sup>1</sup>Козаченко Ю.В., <sup>2</sup>Мавзовин В.С.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», Саратов, e-mail: nklevansky@yandex.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Москва

Информационная поддержка управления лесным хозяйством требует объединения таксационной и картографической информации в единой базе данных (БД). Решение проблемы возможно с помощью предлагаемой интегрированной системы управления лесным хозяйством на уровне лесничества. Интеграция информации в БД системы обеспечивается моделями лесных участков. Объектом лесохозяйственной деятельности является лесной фонд, состоящий из различных лесных участков – лесничеств, участковых лесничеств, лесных кварталов и лесотаксационных выделов, именуемых в дальнейшем геометрическими объектами. Наличие границ лесных участков является одним из признаков становления леса как лесного фонда. Границы геометрических объектов представлены в БД системы последовательностями вершин, соединяемых отрезками прямых. Координаты граничных вершин лесничества, участковых лесничеств и лесных кварталов получают на основании космической съемки или спутникового позиционирования. Границы выделов устанавливаются с помощью аэрофотосъемки и последующего контурного дешифрования, уточняемого в полевых условиях. Границы геометрических объектов представляют в БД картографическую информацию, а связь с таксационной информацией обеспечивается ее включением в данные выделов в схеме БД предлагаемой интегрированной системы. Функциональное моделирование проекта интегрированной системы по методологии SADT позволило выявить основные подходы к созданию системы и представить диаграммы проекта разных уровней. В СУБД Access разработан макет предлагаемой интегрированной системы. В макет включены редакторы границ лесных участков с возможностью их визуализации. Для редактирования граничных вершин лесотаксационных выделов использован метод иерархической декомпозиции, заключающийся в последовательной фрагментации участков большой площади на участки меньшей площади.

**Ключевые слова:** лесное хозяйство, лесной фонд, лесничество, участковое лесничество, лесной квартал, лесотаксационный выдел, иерархическая декомпозиция

## WORK WITH GEOMETRICAL OBJECTS OF FOREST FUND

<sup>1</sup>Klevanskiy N.N., <sup>1</sup>Kozachenko M.A., <sup>1</sup>Kozachenko Yu.V., <sup>2</sup>Mavzovin V.S.

<sup>1</sup>Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Saratov, e-mail: nklevansky@yandex.ru;

<sup>2</sup>National Research Moscow State Construction University, Moscow

Information support for forest management requires the consolidation of inventory and mapping information into a single database (DB). The problem can be solved through the proposed integrated forest management system at the forestry level. Integration of information into DB system is provided by models of forest areas. The forest activity is a forest fund consisting of various forest areas – forestry, district forestry, subdivisions of forest district and forest taxation units, hereinafter referred to as geometric objects. The existence of forest boundaries is one of the signs of forest formation as a forest fund. The boundaries of geometric objects are represented in the system DB by sequences of vertices connected by straight lines. Coordinates of boundary peaks of forestry, precinct forests and forest neighborhoods are obtained on the basis of space survey or satellite positioning. The boundaries of the forest taxation units are established by aerial photography and subsequent contour decryption, which is specified in the field. Boundaries of geometric objects represent mapping information in DB, and connection with taxing information is provided by its inclusion in data of allocations in DB scheme of proposed integrated system. Functional modeling of the integrated system project according to SADT methodology allowed to identify the main approaches to the system creation and to present diagrams of different levels. Access DBMS has developed a layout of the proposed integrated system. The layout includes forest boundary editors with the ability to visualize them. The method of hierarchical decomposition consists in successive fragmentation of large area sections into smaller area sections.

**Keywords:** forestry, forest fund, forest district, subdivision of forest district, forest taxation unit, forest compartment, hierarchical decomposition

Объектом ведения лесного хозяйства является лесной фонд [1]. В отличие от определения «лес», лесной фонд имеет экономическое содержание и представляет собой лесные массивы, закрепленные за отдельными лесными предприятиями. Следует признать, что лес становится лесным фондом приобретении хозяина, границ и количественных оценок. Оценки – это площади лесных участков и таксационные характеристики выделов.

В новой лесоустроительной инструкции [2] сохранена преимущество иерархии включения лесных участков, о чем свидетельствуют следующие пункты инструкции:

«11. При проектировании лесничеств, лесопарков осуществляется установление их границ, деление территорий лесничеств, лесопарков на участковые лесничества, определение квартальной сети.

59. При таксации лесов территория каждого лесного квартала разделяется на первичные лесохозяйственные учетные единицы – лесотаксационные выделы».

Лесничества, участковые лесничества, лесные кварталы, лесотаксационные выделы в данном исследовании будут рассматриваться как геометрические объекты лесного фонда, а их математические модели, необходимые для лесохозяйственной деятельности, представлены в базе данных (БД) предлагаемой интегрированной системы управления лесным хозяйством на уровне лесничества. Модели лесных участков формируются в предположении, что участки являются плоскими многоугольниками, ограниченными некоторым количеством граничных вершин и отрезками прямых между ними.

Обязательным условием проведения непрерывного лесоустройства является ежегодная (или текущая) актуализация повыдельных банков таксационных данных, созданных на персональных ЭВМ во время базового лесоустройства [2].

Аналогичные соображения приведены в [3 с. 30]: «для непрерывного лесоустройства необходима единая повыдельная БД. Система должна работать на уровне лесничества, что позволит увеличить скорость принятия решения и снизить затраты на передачу информации. Источником информации служат данные учета лесного фонда прошлых лет, материалы лесоустройства, мониторинга».

Нельзя также не согласиться с тем, что «информационная поддержка процессов управления лесным хозяйством заключается в анализе, описании, моделировании бизнес-процессов и поддержании актуальной БД лесного фонда» [3, с. 3].

Большое количество графических и текстовых данных – ведомости деления лесов по целевому назначению, лесоустроительные планшеты, планы лесонасаждений, аэро- и космические снимки, комплекты карточек таксации выделов для каждого лесного квартала, необходимые для дальнейших работ в лесной отрасли, сходно с ситуацией в промышленности, сложившейся в период интенсивного развития и внедрения систем автоматизированного проектирования. Выходом стала разработка интегрированных систем управления на основе конструкторских БД [4]. Интеграция информации в конструкторских БД осуществлялась на основе геометрических моделей проектируемых объектов.

Применительно к лесному хозяйству оперативное формирование, редактирование и хранение вышеупомянутых данных наиболее целесообразно производить на уровне лесничеств в составе интегрированной системы управления на основе геометрических моделей лесных участков. Наиболее изменяемыми с геометрической точки зрения являются лесотаксационные выделы [5]. Поэтому интегрированная система лесничества должна включать простой и доступный к использованию редактор границ выделов.

Цель исследования: подходы к созданию интегрированной системы управления лесным хозяйством на уровне лесничества.

Задачи исследования: функциональное моделирование проекта интегрированной системы: разработка редактора границ лесотаксационных выделов.

### Материалы и методы исследования

Контурные выделов определяют при лесоустройстве по аэроснимкам (АС). Границы выделов сначала наносят на АС в камеральных условиях (контурное дешифрирование АС), а во время полевых работ их уточняют. Далее границы выделов переносят на лесные карты. Местоположение, границы и площадь лесных участков определяются соответственно по лесным кварталам и/или лесотаксационным выделам, их границам и площадям (Лесной кодекс РФ, статья 69). Информация эта весьма многообразна, объемна и формирует две группы данных – лесотаксационную и картографическую. В лесотаксационную группу данных входит повыдельная информация о лесном фонде. Картографическая группа данных включает информацию о пространственном размещении участков лесного фонда, а также дублирует некоторую повыдельную информацию, приведенную в таксационных описаниях. Эту информацию составляют графические материалы – планшеты, планы лесонасаждений, карты-схемы. Интегрированная система лесного хозяйства на уровне лесничества позволит объединить информацию таксационных и картографических наборов данных [6].

Государственная инвентаризация лесов (ГИЛ) осуществляется с максимально возможным сохранением в контурах выделов преемственности с данными предыдущего лесоустройства с учетом точности предыдущей таксации, изменений, произошедших в результате хозяйственной деятельности и естественных процессов роста насажде-

ний и динамики экосистем. ГИЛ – процесс, который должен поддерживаться информационной системой для быстрого и надежного представления информации в требуемом виде [5].

При проектировании интегрированной системы управления лесным хозяйством на уровне лесничества использовано функциональное моделирование SADT (Structured Analysis and Design Technique). Первоначальное назначение методологии SADT – функциональное специфицирование программных продуктов. Позже методология SADT стала применяться для структурного анализа систем средней сложности. Моделирование информационной поддержки управления лесным фондом на базе SADT представлено в [3].

Модель системы в методологии SADT – это набор связанных иерархически диаграмм, содержащих функциональные блоки и потоки входных, управляющих и выходных данных, а также механизмы поддержки. Верхний уровень иерархии содержит две контекстные диаграммы. Каждая диаграмма нижнего уровня детализирует один из функциональных блоков родительской диаграммы.

### Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 представлена контекстная диаграмма предлагаемой интегрированной системы лесного хозяйства на уровне лесничества.

Бизнес-процесс A1 связан с редактированием количественной и топологической информации геометрических объектов. Их интегрирующая роль представлена на диаграмме тем, что они являются входными сущностями для трех оставшихся бизнес-процессов (рис. 1). Многообразие лесных участков и роль в бизнес-процессах может быть реализована с помощью следующей схемы БД (рис. 2). Наличие таблицы ВЕРШИНА позволяет с помощью средств системы управления базами данных (СУБД) разработать простой редактор координат граничных вершин лесничества, участков лесничеств и лесных кварталов – количественных данных спутникового позиционирования. Таблицы ВЕРШИНА\_УЧАСТОК, КВАРТАЛ\_ВЕРШИНА, и ВЬДЕЛ\_ВЕРШИНА предоставляют возможность редактирования топологических данных границ соответствующих лесных участков.

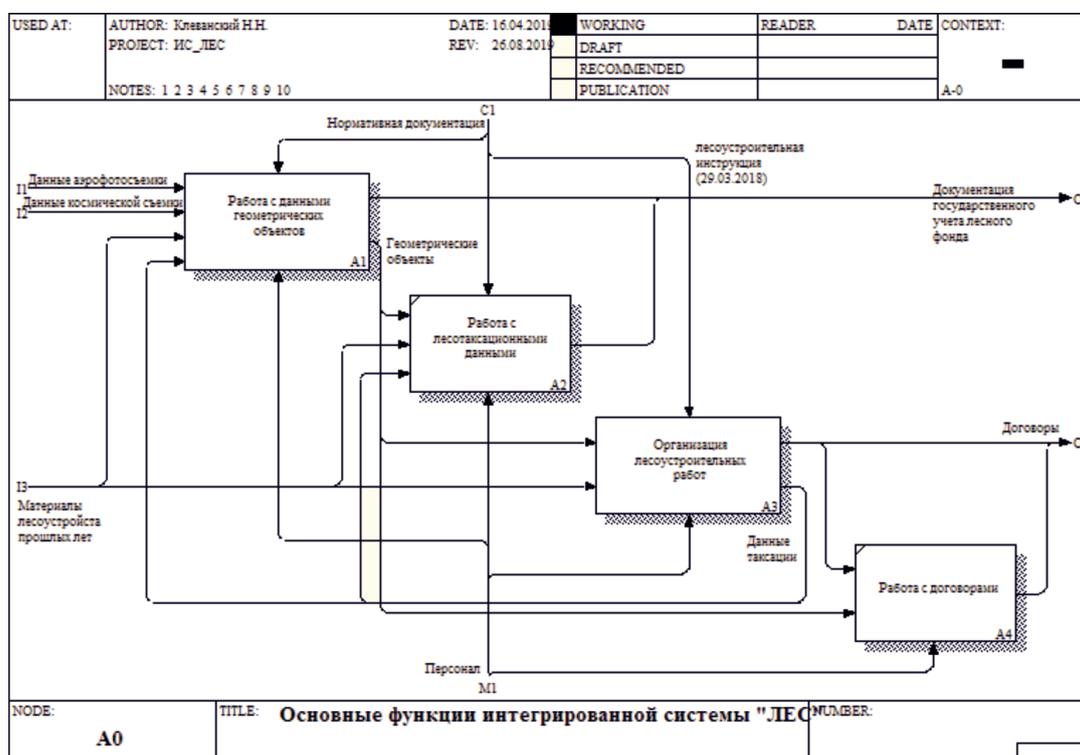


Рис. 1. Контекстная диаграмма основных бизнес-процессов интегрированной системы

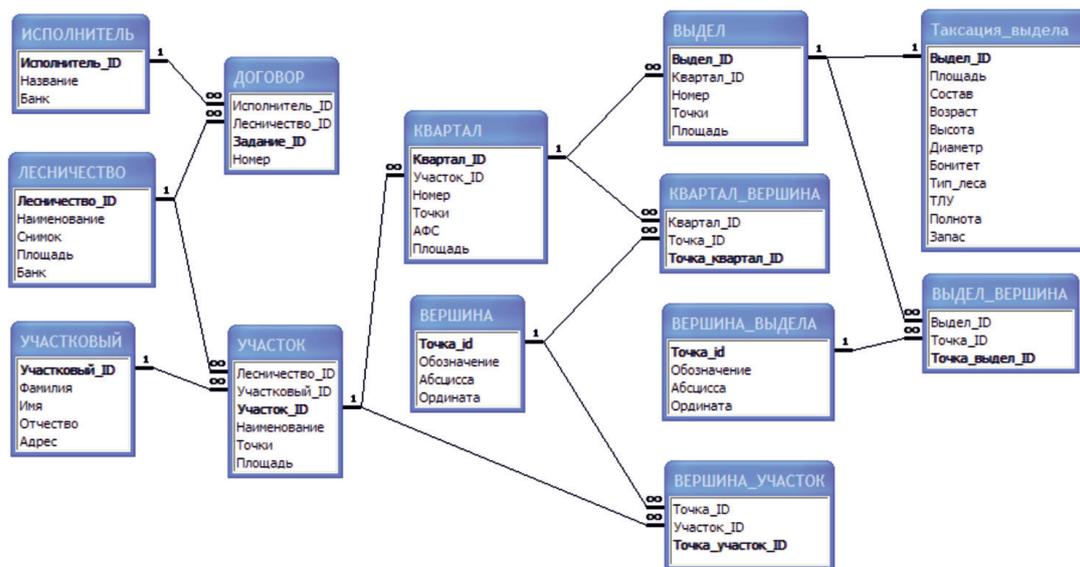


Рис. 2. Схема базы данных интегрированной системы

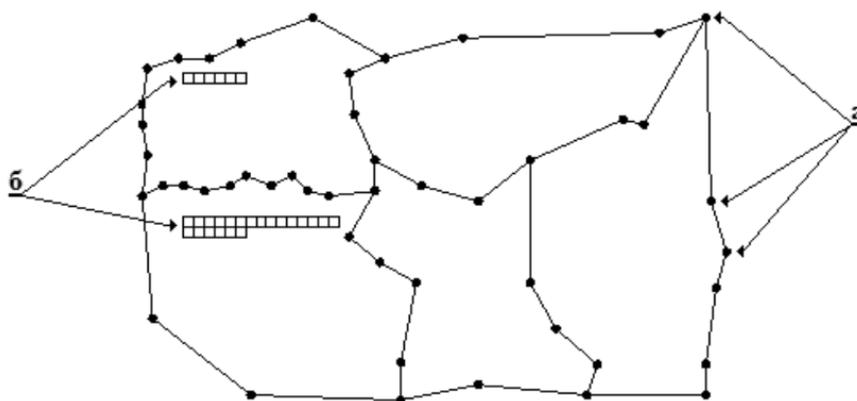


Рис. 3. Границы лесничества, участков лесничеств и лесных кварталов:  
а – граничные вершины; б – лесные кварталы.

В БД интегрированной системы находится вся информация о лесных участках: координаты граничных вершин и топологическая информация о связях между вершинами; данные таксации выделов; данные текущего состояния процесса лесоустройства. С помощью моделей данных можно осуществить визуализацию (рис. 3) и расчет площадей участков.

В соответствии с контекстной диаграммой (рис. 1) и предложенной схемой БД (рис. 2) в СУБД Access разработан макет интегрированной системы управления лесным хозяйством на уровне лесничества. Макет содержит редакторы границ лесничества, участков лесничеств и лесных

кварталов. Простота работы с этими редакторами определяется тем, что координаты граничных вершин участков известны. Некоторые результаты редактирования представлены на рис. 2.

Разработка редактора границ выделов осложняется отсутствием точной информации о координатах граничных вершин выделов выбранного квартала. Для упрощения работы пользователя с редактором граничных вершин выделов использован метод иерархической декомпозиции (рис. 4) – метод последовательной фрагментации лесных участков большой площади на участки в 100 раз меньшей площади с целью обеспечения моделирования граничных вершин выделов.

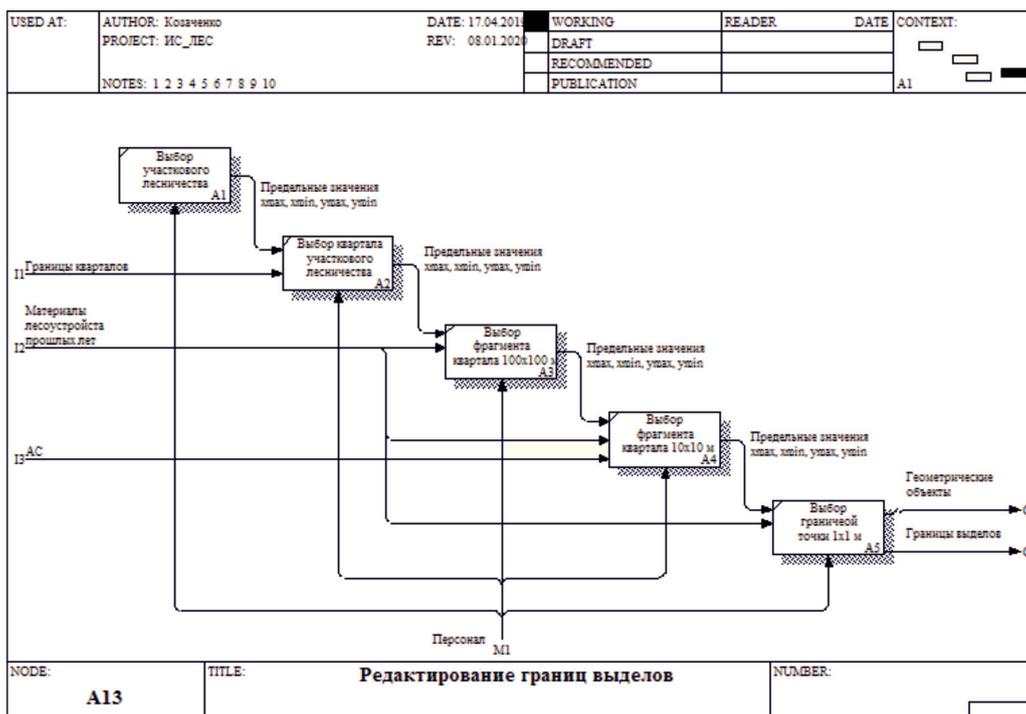


Рис. 4. Функциональная спецификация редактирования границ выделов

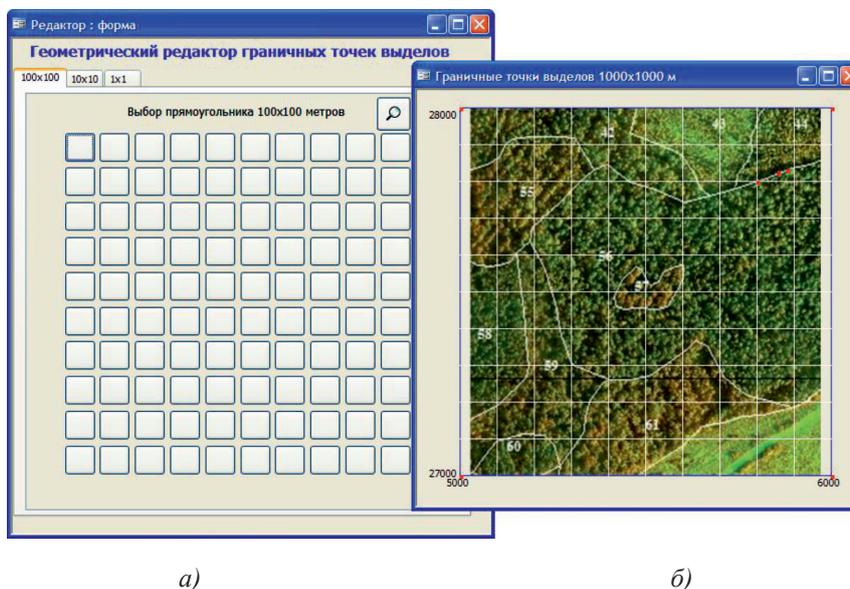


Рис. 5. Выбор фрагмента 100x100 м в выбранном квартале: а – форма интерфейса редактора; б – аэроснимок квартала с дешифровкой выделов

В центральной части формы (рис. 5) расположены 100 кнопок, моделирующих фрагменты квадрата, с которым работает редактор. Находящиеся над кнопками формы вкладки показывают размеры выбираемого редактором фрагмента. Нажатие кнопки

формы сопровождается программной генерацией экстремальных значений координат выбранного фрагмента.

Работа пользователя с редактором начинается после выбора лесного квартала (блок A2, рис. 4) и передачи в редактор экстре-

мальных значений координат квартала. Далее пользователь с помощью кнопок и вкладок единой формы интерфейса редактора (рис. 5) осуществляет переход от участка 1000x1000 м (лесной квартал) к участку 1x1м (граничная вершина выдела с точностью позиционирования 0,5 м).

Простота работы с этим редактором поддерживается использованием аэроснимков квартала с дешифрованными границами выделов. Аэроснимок, помимо дешифрованных границ выделов, визуализируется в редакторе с накладываемой на него сеткой 10x10 для облегчения выбора нужной кнопки перехода на следующий уровень размера выбираемого фрагмента квартала (рис. 5).

### Заключение

Авторы полагают, что научной новизной обладают:

1) концепция интегрированной системы управления лесным хозяйством на уровне лесничества;

2) макет редактора границ лесотаксационных выделов.

Проект интегрированной системы после соответствующей доработки может быть внедрен в практическую деятельность работников лесного хозяйства.

### Список литературы

1. Тихонов А.С., Ковязин В.Ф. Лесоводство: учебник. СПб.: Лань, 2017. 480 с.  
Tichonov A.S., Kovyazin V.F. Forestry: textbook. SPb.: Lan, 2017. 480 p. (in Russian).
2. Лесоустроительная инструкция (утверждена приказом Минприроды России от 29.03.2018 г. № 122 зарегистрировано в Минюсте России 20.04.2018 г. № 50859).  
Forest management instruction Лесоустроительная инструкция (it is approved by the order of the Ministry of the nature of Russia from 03.29.2018 № 122. от 29.03.2018 г. № 122. it is registered in the Ministry of Justice of the Russia from 04.20.2018 № 50859) (in Russian).
3. Абрамова Л.В., Феклистов П.А. Повышение эффективности управления лесным фондом средствами информационных технологий. Архангельск, 2015. 172 с.  
Abramova L.V., Feklistov P.A. Improving forest management of information technology assets. Archagelsk, 2015. 172 p. (in Russian).
4. Хорафас Д., Легг С. Конструкторские базы данных. М.: Машиностроение, 1990. 224 с.  
Chorafas D., Legg S. The Engineering Database. M.: Mashinostroyeniye, 1990. 224 p. (in Russian).
5. Чермных А.И., Годовалов Г.А. Информационные технологии в лесном хозяйстве // Успехи современного естествознания. 2018. № 10. С. 85–89.  
Chermnych A.I., Godovalov G.A. Information technologies in forestry // Advances in current natural sciences. 2018. № 10. P. 85–89 (in Russian).
6. Ващук Л.Н. Актуализация таксационной характеристики выделов после лесоустройства: проблемы и решения // Лесная таксация и лесоустройство. 2012. № 1 (47). С. 27–30.  
Vaschouk L.N. Actualization of forest inventory characteristic of plots after forest management: issues and solutions // Lesnaya taksaciya i lesostroystvo. 2012. № 1 (47). P. 27–30 (in Russian).

УДК 630\*5:630.182:633.877.3:551.24

## ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ГЕОАКТИВНЫХ ЗОН НА РОСТ СОСНЫ

Рогозин М.В.

*Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь,  
e-mail: rog-mikhail@yandex.ru*

Так как ранее проведенные исследования в насаждениях сосны обнаружили влияние на их структуру известных факторов с силой менее чем на 40%, то мы начали изучение фактора влияния малых геоактивных зон (МГА-зон). Объект работ – насаждение площадью 2,2 га с полнотой 0,93 первого класса бонитета. Составили план размещения деревьев: 735 живых, 342 отпавших и 54 вываленных ветром. Далее нанесли сети из МГА-зон четырех типов, в том числе патогенные сети Хартмана и Курри, с точностью нанесения центров зон  $\pm 1,0$  см относительно центров ближних живых и отпавших деревьев. План оцифровали в программе «ArcMap-ArcView». Анализ расположения 508 шт. МГА-зон благоприятного типа размером 1,0 и 3,0 м показал, что сосна занимала их в возрасте 120 и 170 лет соответственно, на 86 и 90%. Выделен пояс комфорта для роста сосны внутри этих зон в радиусе 30–48 см от их центра, а в радиусе 19–29 см – пояс депрессии роста. В радиусе 0–18 см наблюдается ингибирование поселения и роста сосны. В поясах комфорта зон, занимающих 1,44% площади, сосна достоверно превышала средний диаметр на 17%, а её сохранность на них в возрасте 120 и 184 лет оказалась соответственно в 29 и в 42 раза выше, чем в среднем по участку. При росте сосны сразу внутри двух благоприятных зон размером 1,0 и 3,0 м средний диаметр стволов достоверно повышался на 9,9 см или на 26% (по площади сечения на 60%). Таким образом, горизонтальная структура насаждения сосны формируется при мощном воздействии на её развитие и сохранность фактора малых геоактивных зон.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, древостой, структура, геодинамические активные зоны

## THE EFFECT OF THE SMALL GEOACTIVE AREAS FOR GROWTH OF THE PINES

Rogozin M.V.

*Perm State National Research University, Perm, e-mail: rog-mikhail@yandex.ru*

Since earlier studies in pine plantations found the influence of known factors with a strength of less than 40% on their structure, we began to study the influence of small geoactive zones (SGA-zones). The object of work is an area of 2.2 hectares with a full 0.93 first class bonus. We made a plan for placing trees: 735 live, 342 fallen and 54 fallen by the wind. Next, five types of SGA-zone networks were applied, including pathogenic Hartman and Curry networks, with an accuracy of applying the zone centers of  $\pm 1.0$  cm relative to the centers of nearby living or fallen trees. Plan digitized in the «ArcMap-ArcView». Analysis of the location of 508 SGA-zones of favorable type with sizes of 1.0 and 3.0 m showed that pine occupied them at the age of 120 and 170 years, respectively, by 86 and 90%. There is a comfort zone for pine growth within these zones within a radius of 30-48 cm from their center, and a zone of growth depression within a radius of 19-29 cm. Within a radius of 0-18 cm, there is an inhibition of pine settlement and growth. In the comfort zones that occupy 1.44% of the area, pine significantly exceeded the average diameter by 17%, and its safety on them at the age of 120 and 184 years was, respectively, 29 and 42 times higher than the average for the site. When pine trees grew within two favorable zones of 1.0 and 3.0 m, the average diameter of the trunks significantly increased by 9.9 cm or 26% (by 60% of the cross-sectional area). Thus, the horizontal structure of pine stands is formed with a powerful impact on its development and preservation of the factor of small geo-active zones.

**Keywords:** scots pine, tree stand, geodynamic active zones

Геодинамические активные зоны изучают при проектировании газо- и нефтепроводов в связи с рисками аварий [1, 2]. В научной литературе их влияние на биоту освещено крайне слабо, но в последние годы появились исследования так называемых «малых геоактивных зон» (МГА-зон) с диаметрами от 0,55 до 8,0 м [3]. Ранее они назывались «биологически активные зоны» [4] и их первыми индикаторами были деревья, по реакции которых зоны разделили на благоприятные и патогенные. На первых встречаются крупные деревья, на вторых – деревья с депрессией роста и отклонениями формы ствола. Занимаемая ими площадь достигает 50%, а различия в сред-

них размерах деревьев достигают 15%. При изучении МГА-зон космогеологическими методами на ненарушенных ландшафтах обнаружено сопряжение их сетей с неотектоническими факторами [5].

Расположение геоактивных зон определяют уже не только биолокацией, но и объективными методами контроля, например наложением на них фотоматериалов и засвечиванием их гамма-излучением патогенных зон. Способ запатентован [6], но имеет крупный недостаток – время экспозиции фотопленки достигает 15 суток. На фотонегативах полосы сети Хартмана имеют ширину 3 мм, и это при том, что операторы биолокации определяли её в 15–35 см, т.е. их

повреждающее действие превышает размер источника излучения почти в 100 раз. Получается, что чувствительность человека, как, вероятно, и других организмов, к МГА-зонам очень высока; но ее надо «разбудить», а далее работать с ней, используя тело человека как биоприбор. Практика биолокации насчитывает сотни лет [7], и перед учеными давно стоит вопрос о верификации данных «биоприбора-человека», где глубинные излучения энергии Земли воспринимает всё тело человека, а рамки, сенсоры и маятники лишь помогают в их индикации. Хорошими индикаторами таких зон служат деревья, формирующие на патогенных зонах стволы с депрессией роста, а на благоприятных зонах наиболее мощные стволы [3].

Исследования МГА-зон были начаты главным образом в связи с тем, что ныне отсутствуют приемлемые объяснения причин формирования сложной структуры древостоев, где встречаются скопления деревьев, биогруппы и прогалины, и факторы их образования остаются неизвестными; при этом в качестве основного фактора взаимоотношений деревьев обычно принимается конкуренция за свет [8–10]. Наши данные о факторах, влияющих на размер конкретного дерева, а также данные исследований ведущих лесных селекционеров показывают, что внутривидовая конкуренция вместе с влиянием генотипа определяет индивидуальные размеры дерева в насаждении менее чем на 40%, т.е. влияние неизвестных факторов преобладает и достигает 60% и более [11]. Поэтому была выдвинута гипотеза, что малые геоактивные зоны могут быть в числе этих неизвестных факторов.

Цель исследования: в спелом насаждении сосны составить карту благоприятных геоактивных зон двух типов размером 1,0 и 3,0 м и выяснить их влияние на структуру древостоя, сохранность и диаметры деревьев сосны.

#### **Материалы и методы исследования**

Объектом работ выбран массив сосны обыкновенной в лесах г. Перми, в кв. 61 Нижне-Курьинского участкового лесничества, в котором уже изучалось взаимодействие деревьев и их экологические ниши на площади 2,2 га [11]. В этом массиве в 2017 г. были следующие таксационные показатели: состав пород 10Сед.Е, возраст 184 года, средняя высота 32.1 м, средний диаметр 41.4 см, тип леса сосняк кисличниковый с преобладанием в кустарничковом ярусе черники и брусники, класс бонитета 1, от-

носительная полнота 0.93, запас 620 м<sup>3</sup>/га. В 2003 г. в насаждении прошел ветровал, при котором было вывалено 7,0% деревьев, и если учесть эти деревья, то сейчас древостой имел бы полноту 1.0.

У каждого дерева измеряли окружность ствола и расчетным путём определяли диаметр с округлением до 0.1 см, далее наносили их на план в масштабе 1:100. Затем, используя биолокационный метод, на этот план с помощью угловых засечек и маятника наносили центры МГА-зон с точностью ±1,0 см с геопривязкой к центрам оснований стволов ближних 1–3 деревьев. В данной работе анализировали влияние на сосну МГА-зон двух типов, размеры которых (точнее, мощность их излучения) была определена ранее как диаметры зон 1,0 м для первого и 3,0 м для второго типа зон, причём такие их размеры были определены ранее при изучении их действия на рост ели [3]. Поэтому здесь, не зная точного их воздействия на сосну, их размер для сохранения преемственности исследований также приняли равным 1,0 м и 3,0 м (структура сети из зон размером 3,0 м включала в себя чередование двух зон размером 3,0 м с одной зоной размером 4,5 м). Детально методику биолокации и картирования МГА-зон и деревьев мы описали в двух монографиях [3, 11].

Составленные планы оцифровали в программе «ArcMap-ArcView». При обработке результатов определяли показатели корреляции и тренды линейных и полиномиальных связей, обычно используемых в лесоведении [8, 9].

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

В статье мы рассмотрим только благоприятные МГА-зоны размером 1,0 м и 3,0 м, которые оказали на сосну наиболее сильное влияние; существует ещё несколько типов зон, описание которых выходит за рамки статьи, но их мы изучали ранее на ели [3].

Всего на площади 2,2 га было нанесено на план 508 таких зон, в том числе 238 зон размером 3,0 м и 270 зон размером 1,0 м. Предстояло выяснить два вопроса:

- сколько зон оказалось занято деревьями;
- на каком расстоянии от центра зоны сосна реагировала на её действие более высокой сохранностью и увеличением диаметра.

При работе в поле сразу выяснилось, что большинство таких зон было занято деревьями. После учёта отпавших деревьев и ретроспекции их расположения в прошлом обнаружилось, что в возрасте

170 и 120 лет сосна занимала эти зоны соответственно в 86 и 90% случаев. Фрагмент 1/4 территории массива сосны показан ниже (рис. 1).

Далее на оцифрованной карте определяли расстояние между центром основания ствола дерева и центром ближней МГА-зоны, названное нами «расстояние до МГА-зоны». Таких расстояний мы определили 386 шт. и проанализировали их влияние на диаметр дерева. И здесь удалось понять, как «сама сосна» определяет границы благоприятного действия этих зон. Для зон размером 1,0 м связь между расстоянием до МГА-зоны и диаметром ствола сосны имеет аппроксимацию  $R^2 = 0,84$ , а для зон размером 3,0 м  $R^2 = 0,74$  (рис. 2).

Красными точками на диаграмме показаны деревья, находившиеся частично

в благоприятной и частично в патогенной зонах; они образуют хорошо видимый кластер, и из них сформировали ряд на благоприятных и на патогенных зонах. Исключая этот ряд и принимая во внимание высокий уровень связи и близкие, буквально сливающиеся тренды, можно выделить общие для изучаемых двух типов зон радиусы и пояса их влияния:

0–18 см – радиус ингибирования, где нет живых деревьев;

19–29 см – пояс депрессии, с деревьями менее средних размеров;

30–48 см – пояс комфорта со средними и крупными деревьями.

Дополнительно можно выделить пояс максимального комфорта (34–48 см), где встречаются самые крупные (в том числе плюсовые) деревья.

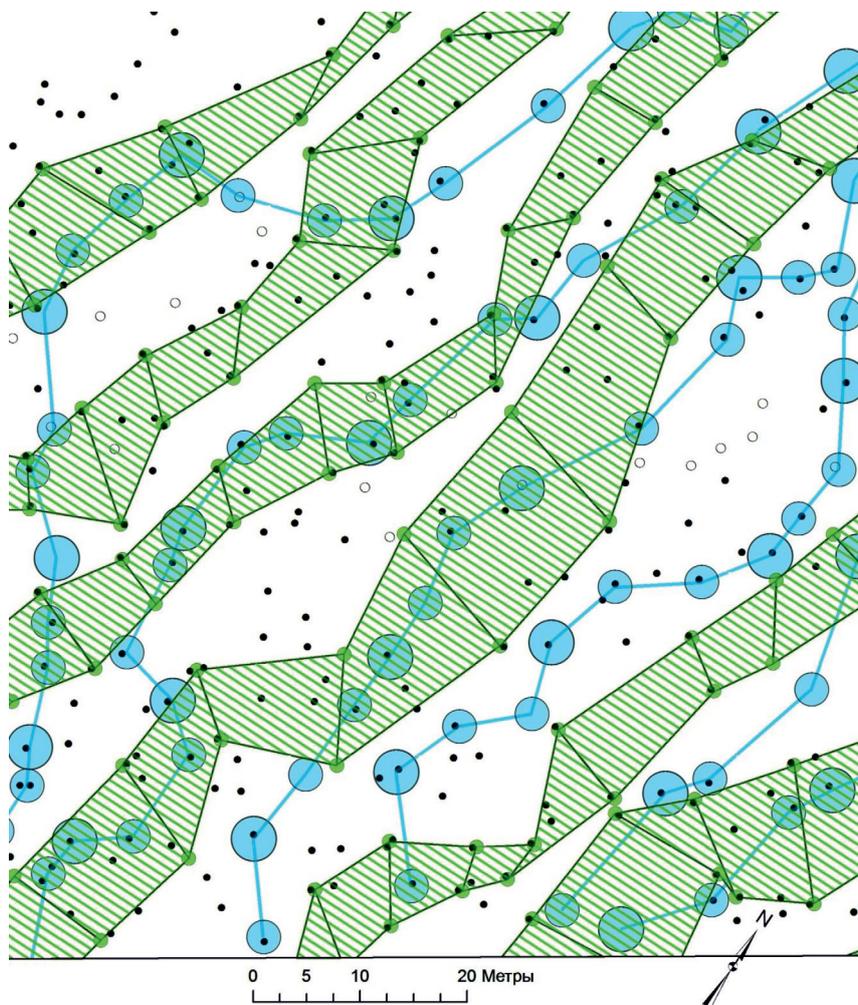


Рис. 1. Сети из МГА-зон размером 1,0 м (зеленые полосы и кружки) и сети из зон размером 3,0 м (синие линии и круги); чёрные точки – живые, пустые овалы – ветровальные деревья

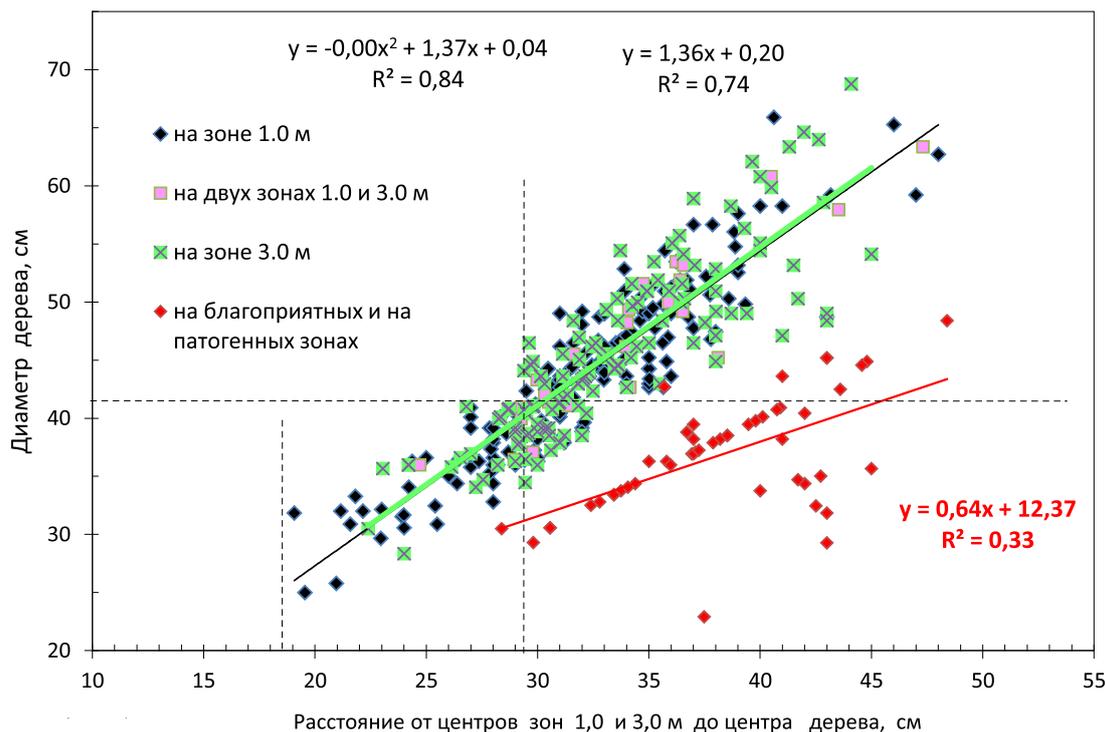


Рис. 2. Влияние благоприятных зон размером 1,0 и 3,0 м на диаметр сосны; горизонтальная линия обозначает средний диаметр деревьев в древостое

Из характера размещения точек на рисунке прямо следует, что чем ближе к краю действия зон, ограниченного радиусом 48 см, формировалось дерево, тем оно выросло крупнее. Между тем неизбежно возникает следующий вопрос: почему ни разу центры этих зон не совпали с центром основания ствола дерева? Здесь возможна следующая гипотеза.

По-видимому, при расстоянии до центра зоны менее 18 см деревья просто не выживают (хотя поселиться могут). Как только камбиальный слой клеток ствола на уровне примерно 35 см от поверхности почвы (место перехода корневых лап в ствол) достигает радиуса ингибирования, т.е. 18 см от центра зоны размером 1,0 м, то дерево погибает (для зоны размером 3,0 м этот радиус чуть дальше и равен 22 см). Поэтому центры зон всегда располагались от периметра живых стволов на расстоянии 3–11 см, что обнаруживалось непосредственно в полевых условиях.

Для сравнения успешности роста сосны на зоне размером 1,0 м с её ростом на нейтральной территории использовали так называемый «парный» контроль, т.е. вблизи

дерева на зоне находили дерево вне действия благоприятных, а также патогенных зон. Такие контрольные деревья оказались в своём большинстве ниже среднего диаметра древостоя, показанного горизонтальной линией (рис. 3).

На рисунке выделены красными точками деревья за радиусом 50 см, ограничивающим зону размером 1,0 м; по-видимому, это некий переходный пояс с расстоянием от центра зоны 51–75 см, так как известно, что этот тип зон мигрирует (например, в других местах Пермского края на 8–15 см на одной и на 14–56 см на другой территории), и амплитуда такой миграции зависима от геодинамической активности обширных территорий Земли [3, с. 94]. В этом переходном поясе деревья отдалены от плотного облака точек слева, и его можно назвать «поясом неустойчивого комфорта» в связи с периодическим уходом и возвратом в неё центра указанной зоны размером 1,0 м. Похожая картина наблюдается и для МГА-зон размером 3,0 м; однако это требует отдельного анализа, как и вопрос о размещении отпавших деревьев внутри рассматриваемых зон, причём раздельно по их типам.

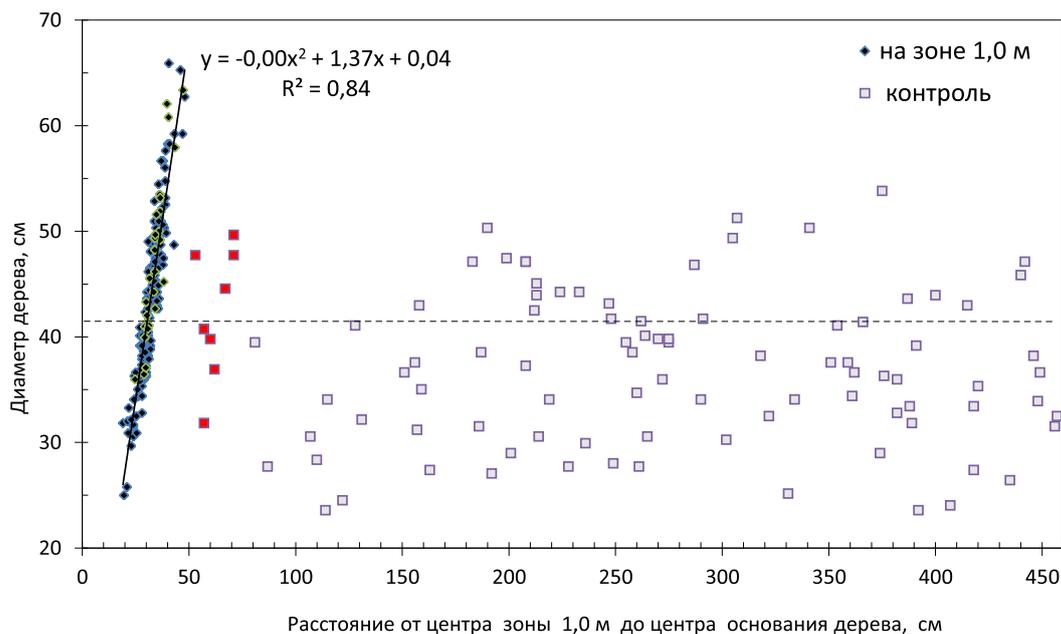


Рис. 3. Деревья на благоприятных зонах размером 1,0 м (черные и красные точки) и деревья парного контроля (серые точки)

По сравнению с выборкой на нейтральных местах территории в поясах комфорта МГА-зон (включая деревья на патогенных зонах) сосна достоверно ( $t = 8,2 > t_{0,01} = 2,6$ ) превышала средний диаметр на 6,3 см или на 17%. При этом в выборке из 28 деревьев на двух зонах 1,0 и 3,0 м превышение составило 9,9 см или 26% (по площади сечения на 60%) при  $t = 6,3 > t_{0,01} = 2,6$ .

В полученных выше результатах сосна, действительно, как бы «сама указывает» нам на благоприятную для неё территорию вокруг центра зоны, ограниченную радиусом 0,48 м, и в этом плане её деревья являются хорошими биоиндикаторами. Далее нужно вычистить площадь ингибирования с радиусом 0,18 м, и тогда благоприятная для поселения и роста сосны площадь 1 зоны составит 0,622 м<sup>2</sup>. Всего на участке обнаружено 508 зон размером 1,0 и 3,0 м, и в целом их благоприятная площадь составит  $0,622 \times 508 = 316$  м<sup>2</sup> или 1,44% всей площади участка. На площади участка 2,2 га ныне растёт 735 деревьев, следовательно, на 1,44% площади теоретически должно было бы находиться  $735 \times 0,0158 \approx 10,6$  дерева. Однако на ней (на зонах 1,0 и 3,0 м) сейчас растёт 442 дерева, или в 42 раза больше, чем теоретически позволяла их разместить площадь этих зон, равная 1,44%. Ретроспективные расчеты для возраста примерно 120 лет с уче-

том отпавших за 60 лет деревьев дают число деревьев в то время 1132 шт., следовательно, на 1,44% площади изучаемых зон должно было бы находиться  $\approx 16,3$  шт. деревьев; в действительности же их было 478 шт., или в 29 раз больше, чем теоретически позволяла разместить их площадь таких зон.

### Заключение

Проведенный анализ расположения деревьев сосны в возрасте 120 и 184 года на малых геоактивных зонах размером 1,0 и 3,0 м позволил выделить комфортный для роста сосны пояс зоны, который определился по наличию деревьев с размерами средними и выше на расстоянии 30–48 см от центра этих зон. В радиусе 19–29 см есть пояс депрессии роста, где формируются деревья средние и отстающие в росте, ещё ближе к центрам зон в радиусе 0–18 см наблюдается ингибирование поселения и роста сосны. В поясах комфорта зон, занимающих 1,44% площади, сосна достоверно превышала средний диаметр на 17%, а её сохранность на них в возрасте 120 и 184 года оказалась, соответственно, в 29 и в 42 раза выше, чем в среднем по участку. Таким образом, горизонтальная структура насаждения сосны формируется при постоянном и мощном воздействии на развитие и сохранность её деревьев фактора малых геоактивных зон.

### Список литературы / References

1. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4. [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=4745> (дата обращения: 20.01.2019).
- Kopylov I.S. Theoretical and applied aspects of the doctrine of geodynamic active zones. Modern problems of science and education. 2011. № 4. [Electronic resource]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=4745> (date of access: 20.01.2019) (in Russian).
2. Копылов И.С. Линементно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7570> (дата обращения: 20.01.2019).
- Kopylov I.S. Lineament-geodynamic analysis of the Permian Urals and the Urals // Modern problems of science and education. 2012. № 6. [Electronic resource]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7570> (date of access: 20.01.2019) (in Russian).
3. Рогозин М.В. Лесные экосистемы и геобиологические сети. Пермь: ГНИУ, 2016. 171 с.
- Rogozin M.V. Forest ecosystems and geobiological networks. Perm: PGNIU, 2016. 171 p. (in Russian).
4. Марченко И.С. Биополе лесных экосистем. Брянск: БГИТА, 1995. 188 с.
- Marchenko I.S. Biofield of forest ecosystems. Bryansk: BGITA, 1995. 188 p. (in Russian).
5. Рогозин М.В., Михалев В.В., Рыбальченко А.Я., Копылов И.С. Оценка влияния неотектоники на лесные экосистемы и на ориентацию сетей из малых геоактивных зон // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2019. № 2 (39). С. 23–31.
- Rogozin M.V., Mikhalev V.V., Rybalchenko A.Ya., Kopylov I.S. Evaluation of the influence of neotectonics on forest ecosystems and on the orientation of the networks of small geodynamic zones // Geologiya i poleznyye iskopayemyye Zapadnogo Urala. 2019. № 2(39). P. 23–31 (Russian).
6. Агбалян Ю.Г. Глобальная энергетическая сеть Хартмана. Мифы и реальность // Сознание и физическая реальность. 2009. Т. 14. № 12. С. 14–20.
- Agbalyan Yu.G. Hartman's global energy network. Myths and reality // Soznaniye i fizicheskaya real'nost'. 2009. V. 14. № 12. P. 14–20 (in Russian).
7. Горелов А.М. Эколого-морфологические основы концепции фитогенного поля: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Киев, 2014. 39 с.
- Gorelov A.M. Ecologo-morphological bases of the concept opposed to a phytogenic one field: avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk. Kiyev, 2014. 39 p. (in Russian).
8. Грабарник П.Я. Анализ горизонтальной структуры древостоя: модельный подход // Лесоведение. 2010. № 2. С. 77–85.
- Grabarnik P.Ya. Analysis of the horizontal structure of the forest stand: a model approach // Lesovedeniye. 2010. № 2. P. 77–85 (in Russian).
9. Демаков Ю.П. Структура и закономерности развития лесов республики Марий Эл. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. 432 с.
- Demakov Yu.P. Structure and patterns of forest development in the Republic of Mari El. Yoshkar-Ola: PGTU, 2018. 432 p. (in Russian).
10. Усольцев В.А. Продукционные показатели и конкурентные отношения деревьев. Исследование зависимостей. Екатеринбург: УГЛТУ, 2013. 556 с.
- Usoltsev V.A. Production and competitive relations of trees: studying a system of regularities. Yekaterinburg: UGLTU, 2013. 556 p. (in Russian).
11. Рогозин М.В. Структура древостоев: конкуренция или партнерство? Пермь: ПГНИУ, 2019. 223 с.
- Rogozin M.V. Structure of stands: competition or partnership? Perm: PGNIU, 2019. 223 p. (in Russian).

УДК 630\*165.6:630\*232.31:633.878.32

**АЛЛОТРИПЛОИДНЫЕ КЛОНЫ ТОПОЛЯ СЕРЕЮЩЕГО  
(*POPULUS CANESCENS* SM.), ОТОБРАННЫЕ  
В ПОЙМЕ ХОПРА И ДОНА – КРУПНОЕ ДОСТИЖЕНИЕ  
КАФЕДРЫ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР В СЕЛЕКЦИОННОМ ЛЕСОВОДСТВЕ**

**Сиволапов А.И.**

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова»,  
Воронеж, e-mail: Aleksey-Sivolapov@yandex.ru*

Тополь сереющий является спонтанным гибридом тополя белого и осины. Высокая гетерозиготность гибридного тополя обусловила появление многочисленных форм. В местах совместного произрастания тополя белого и осины противоположного пола отсутствие изоляционных барьеров для гибридизации приводит к возникновению гибридного вида – тополя сереющего. Искусственные гибриды тополь белый×осина имеют сходство с естественными гибридами. Тополя – растения двудомные. Наиболее устойчивыми оказались гибриды, когда в качестве материнской особи выступает тополь белый, а в качестве опыления – осина. В Хоперском государственном природном заповеднике автором статьи в 1976 г. впервые в Европе выявлена аллотриплоидная форма тополя сереющего, изучение которой вносит огромный вклад в теорию интрогрессивных гибридов тополей, цитогенетический механизм образования аллотриплоидов. В пойме Дона (Давыдовское лесничество) выявлена исполинская форма тополя сереющего, в 20 лет у неё насчитывали преобладание триплоидных клеток, а в 40 лет триплоидные клетки сохранились до 8% только в почках верхней части кроны. Наблюдается онтогенетическая изменчивость числа хромосом в клетках разных частей кроны дерева. Практическая значимость этих ценных форм тополя заключается в их использовании для плантационного и защитного лесоразведения, как наиболее продуктивных и устойчивых к биотическим и абиотическим факторам среды. Многолетние исследования роста древостоев клоновых микропопуляций тополя сереющего в сравнении с осинкой показали значительное превышение продуктивности тополя над осинкой. Эти уникальные формы зарегистрированы как сорта: тополь сереющий Хоперский 1 и тополь сереющий Приярский.

**Ключевые слова:** аллотриплоид тополя сереющего, цитогенетический механизм возникновения миксоплоидов, сорт тополя, размножение и плантационное выращивание тополя Хоперский 1 и Приярский

**ALLOTRIPLOID CLONES OF GRAY POPULAR  
(*POPULUS CANESCENS* SM.) SELECTED IN THE FLOODPLAIN  
OF THE KHOPER AND DON RIVERS – LARGE ACHIEVEMENT  
IN SELECTIVE FORESTRY OF THE DEPARTMENT OF FOREST CULTURES**

**Sivolapov A.I.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh,  
e-mail: Aleksey-Sivolapov@yandex.ru*

Gray poplar is a spontaneous hybrid of white poplar and aspen. High heterozygosity of the hybrid poplar led to appearance of numerous forms. In places of joint growth of white poplar and aspen of the opposite gender, the absence of isolation barriers for hybridization, leads to the appearance of hybrid species – gray poplar. Artificial hybrids, white poplar × aspen, are similar to natural hybrids. Poplars are dioecious plants. The most stable were hybrids when white poplar acts as the maternal individual, and aspen pollination is used. Allotriploid form of gray poplar, the study of which makes huge contribution to the theory of introgressive poplar hybrids and the cytogenetic mechanism of the formation of allotriploids was revealed in the Khopersky State Nature Reserve in 1976 for the first time in Europe. In the floodplain of the Don (Davydovskoe forestry) a gigantic form of gray poplar was revealed. At the age of 20 it was dominated by triploid cells, and at the age of 40 triploid cells survived to 8% only in the buds of the upper crown part. Ontogenetic variability of the number of chromosomes in the cells of different parts of the tree crown is observed. The practical significance of these valuable forms of poplar lies in their use for plantation and protective afforestation, as the most productive and resistant to biotic and abiotic environmental factors. Long-term studies of the stands' growth of gray poplar clonal micropopulations (in comparison with aspen) have showed a significant excess of poplar productivity over aspen. These unique forms are registered as varieties: gray poplar Khopersky 1 and gray poplar Priyarsky.

**Keywords:** gray poplar allotriploid, cytogenetic mechanism of the mixoploid formation, poplar variety, reproduction and plantation cultivation of Khopersky 1 and Priyarsky poplar

Лесоводственно-селекционные полевые исследования в Воронежской области показали, что наибольшее разнообразие форм тополя сереющего встречается в пойме Хопра – Хоперском государственном природном заповеднике (ХГПЗ) и пойме Дона – Давыдовском и Богучарском лесничествах. В квартале 93 Хоперского заповедника гигантские столетние деревья тополя белого женского пола примыкают к кроне мощ-

ных деревьев осины мужского пола. Здесь автор наблюдал подрост гибридов, возникших, вероятно, от скрещивания тополя белого и осины, то есть этот участок является как бы естественной лабораторией спонтанной гибридизации тополей [1]. Спонтанные гибриды тополей в Западной Сибири изучают Б.В. Прошкин, А.В. Климов [2].

Тополь сереющий (*Populus canescens* Sm.), может служить идеальным примером изучения классических и современных направлений систем селекции лиственных древесных растений [3, 4]. Открытием в лесной селекции является выявление естественных аллотриплоидов тополя сереющего.

Цель исследования: выполнить анализ многолетних исследований роста и продуктивности аллотриплоидных клонов тополя сереющего, отобранных в пойме Хопра и Дона.

#### Материалы и методы исследования

Имеющиеся классические методы аналитической и синтетической селекции апробированы на тополе сереющем крупнолистной и исполинской формы. Заложены пробные площади в плюсовых насаждениях квартала 92 Хоперского заповедника и квартале 52 Давыдовского лесничества Воронежской области; отобраны плюсовые деревья, от которых взяты пробы соматических и генеративных органов и выполнены цитогенетические и эмбриологические исследования, ДНК-паспортизация, изучено явление мутагенеза и полиплоидии в селекции тополя; испытаны системы размножения, включая биотехнологию *in vitro*, созданы экспериментальные культуры разных сортообразцов полиплоидных тополей на деградированном черноземе в Семилукском питомнике. Созданы культуры тополя регенерантами *in vitro* и черенковыми саженцами в разных экологических условиях Учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ [5]. Первые триплоиды тополя сереющего были обнаружены в Канаде [6], вторые – в России (Воронежская область). Конечным результатом селекции древесных растений является сорт, изучаемые сортообразцы тополя сереющего зарегистрированы как сорта: тополь сереющий Хоперский 1 и тополь сереющий Приярский [7].

#### Результаты исследования и их обсуждение

На примере тополя сереющего успешно «работают» методы аналитической селекции. При обследовании древостоев пой-

мы реки Хопер в квартале 92 Хоперского государственного заповедника на берегу реки обнаружено гигантское дерево тополя с крупными листьями, корни этого дерева размывало течением реки и унесло в воду, от этого дерева на площади около 1 га произрастают корневые отпрыски – клоновая микропопуляция крупнолистной формы тополя сереющего. В пойме реки Дон близ села Прияр в кв. 52 Давыдовского лесничества Воронежской области обнаружен участок тополя по фенотипу похожий на осину, отличающийся удивительной прямизной стволов. Жизнеспособность деревьев высокая, плотность древесины достигает (650 кг/м<sup>3</sup>), либриформ (1,7 мм). Лесоводственно-таксационная характеристика этих плюсовых насаждений показана на рис. 1.

Таксационные показатели крупнолистной триплоидной формы тополя сереющего (тополь Хоперский) значительно превышают рядом растущую осину того же возраста. В 20 лет диаметр тополя сереющего превышает диаметр осины на 9 см, в 55 лет – на 27 см. Высота тополя сереющего Хоперский 1 в 20 лет превышает осину на 4 м, а в 55 лет на 9 м [8]. Ту же картину мы наблюдаем и у тополя Приярского: в 20 лет тополь превышает осину по высоте на 5 м, по диаметру на 4 см, в 41 год – на 7,5 м, и на 4,0 см соответственно. На тополе можно успешно применять «плюсовую» селекцию, то есть индивидуальный отбор (отбор плюсовых деревьев). Отобранные плюсовые деревья стали маточными для размножения посадочного материала и создания плантационных культур (рис. 2). От плюсовых деревьев были выполнены прививки на питомнике Учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ в боковой зарез коры тополя белого и искусственного гибрида тополь белый×осина. Эти привитые растения служили маточником для черенкования их одревесневшими и зелеными черенками, а в последние годы для микроклонального размножения. Из укорененных черенков от прививок создана маточная плантация, с которой путем черенкования зелеными черенками и микроклональным размножением получены саженцы и созданы культуры тополя.

Фенотипические особенности отобранных плюсовых деревьев тополя сереющего (гигантизм роста, крупные листья, высокая жизнеспособность) направили автора изучить цитогенетику деревьев. Материалом для исследований хромосомного аппарата являлась меристематическая ткань кончиков листьев верхушечных почек [9].

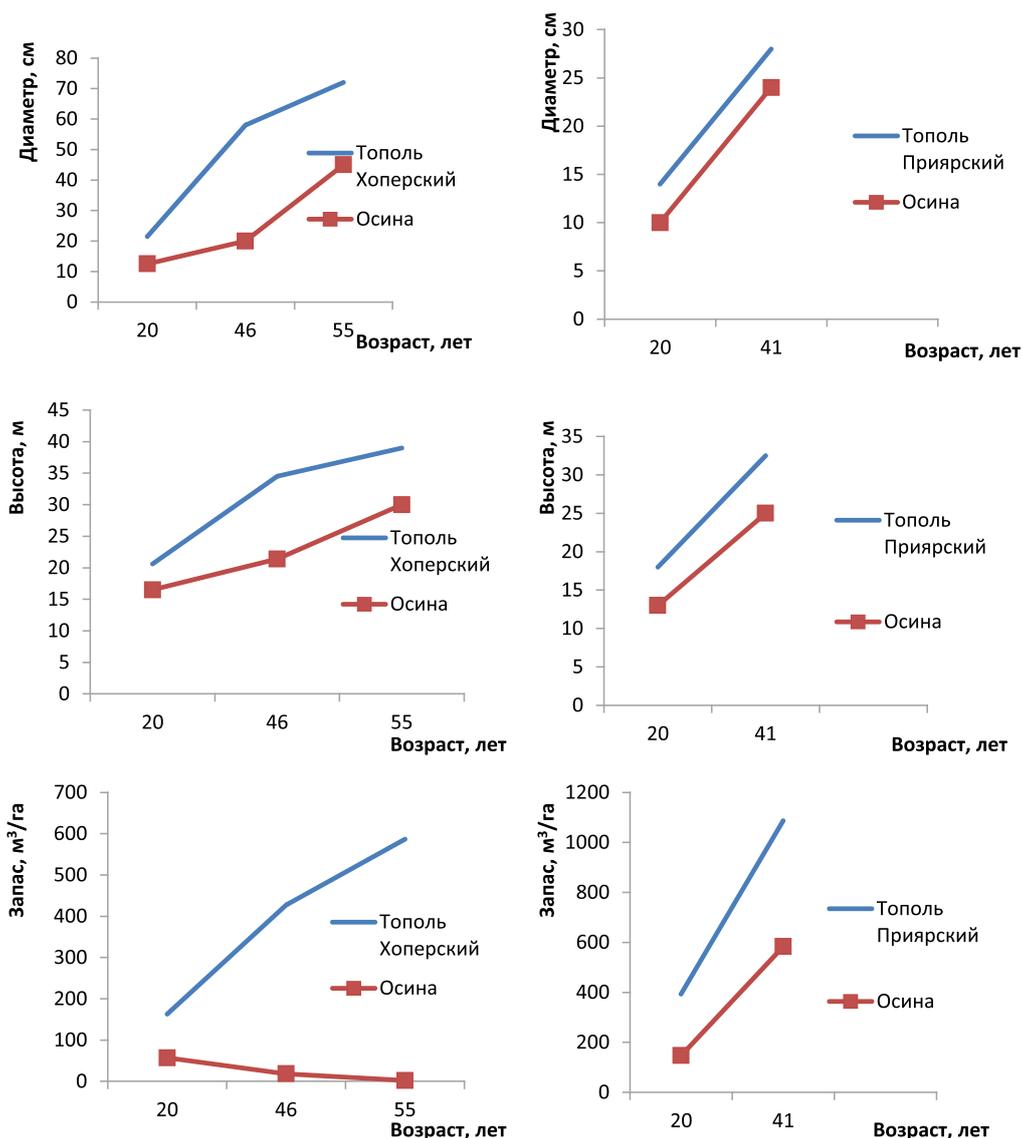


Рис. 1. Динамика роста и продуктивности плюсовых насаждений тополя сереющего Хоперский и тополя сереющего Приярский в сравнении с осиной

Число хромосом тополя сереющего Хоперского на 74,3% составляло тройной набор  $2n = 57$ ; у тополя сереющего Приярского на 58,2% (рис. 3).

В результате проведенных эмбриологических исследований установлены некоторые особенности формирования женской генеративной зоны в семяпочках триплоидного тополя сереющего, отобранного в Хоперском заповеднике: в семяпочке развитие двух функциональных макроспор является результатом развития двух тетрад из двух материнских археспориаль-

ных клеток, что характерно для триплоидного тополя; в семяпочках наблюдали зародышевые мешки с задержкой и отсутствием дифференциации; наблюдали аномальное расположение синергид; отмечены случаи задержки или отсутствия слияния полярных ядер, в них заметны признаки деградации. Отмеченные аномалии в формировании макрогаметофита у триплоидного тополя ведут к образованию стерильных семяпочек и являются результатом полиплоидизации и гибридного происхождения данной формы.



а)

б)

в)

Рис. 2. а) Плюсовое дерево тополя сереющего крупнолистной формы (ХГПЗ);  
 б) Плюсовое дерево тополя сереющего исполинской формы (Давыдовское лесничество);  
 в) однолетняя прививка тополя сереющего крупнолистной формы от плюсового дерева № 1

Женский клон триплоидной формы тополя сереющего ежегодно обильно плодоносит, но семена в основном стерильны и всходы быстро погибают, около 30% семенного потомства сохраняются. Анализ семенного потомства, полученного от свободного опыления триплоидной (женского пола) формы тополя сереющего выявил высокую изменчивость морфологических признаков проростков: наблюдали сеянцы с одной, двумя, тремя и четырьмя семядолями. Изучение чисел хромосом в кончиках корешков показало, что только 5% семян проростков имели  $2n = 38$ , т.е. были диплоидными, а остальные, у которых можно было подсчитать числа хромосом, оказались миксоплоидами, триплоидами  $2n = 3x = 57$  и тетраплоидами. Геномные мутанты были нежизнеспособны и погибли в течение двух недель.

Уникальные формы тополя сереющего, отличающиеся гетерозисом роста и устойчивостью к биотическим и абиотическим факторам среды, используются в защитном лесоразведении и плантационном лесовыращивании. Для сохранения хозяйствен-

но ценных признаков у отобранных форм тополя сереющего (позднее зарегистрированных в сорта) отработано вегетативное размножение: от взрослых деревьев нарезаны черенки и выполнены прививки в боковой зарез коры. У тополя Приярского приживаемость прививок низкая, по-видимому, из-за высокой плотности древесины у него. После омоложения растений от них нарезали зеленые черенки и размножали в теплице с туманом. Предобработка черенков стимуляторами роста показала, что наиболее эффективно влияет на укореняемость обработка водными растворами лактонов.

Применение современных технологий микрклонального размножения *in vitro* позволит в полной мере использовать сорта тополей и проводить интенсивное выращивание качественного посадочного материала ценных клонов тополя (трудноразмножаемых обычными способами) для плантационного лесовыращивания. Рекомендуемые для плантационного лесовыращивания и защитного лесоразведения (кроме полезационных полос, так как дают корневые отпрыски) и озеленения (тополь Приярский) вышеопи-

санные сорта тополя сереющего характеризуются быстротой роста, высокой жизнеспособностью к биотическим и абиотическим факторам среды, высокими показателями качества древесины. Но из-за очень плохой укореняемости зимних и зеленых черенков

оба сорта не находят широкого применения в лесокультурной практике. Для эффективного вегетативного размножения взрослых экземпляров вышеупомянутых сортов рекомендуется применение разработанной нами биотехнологии *in vitro*.

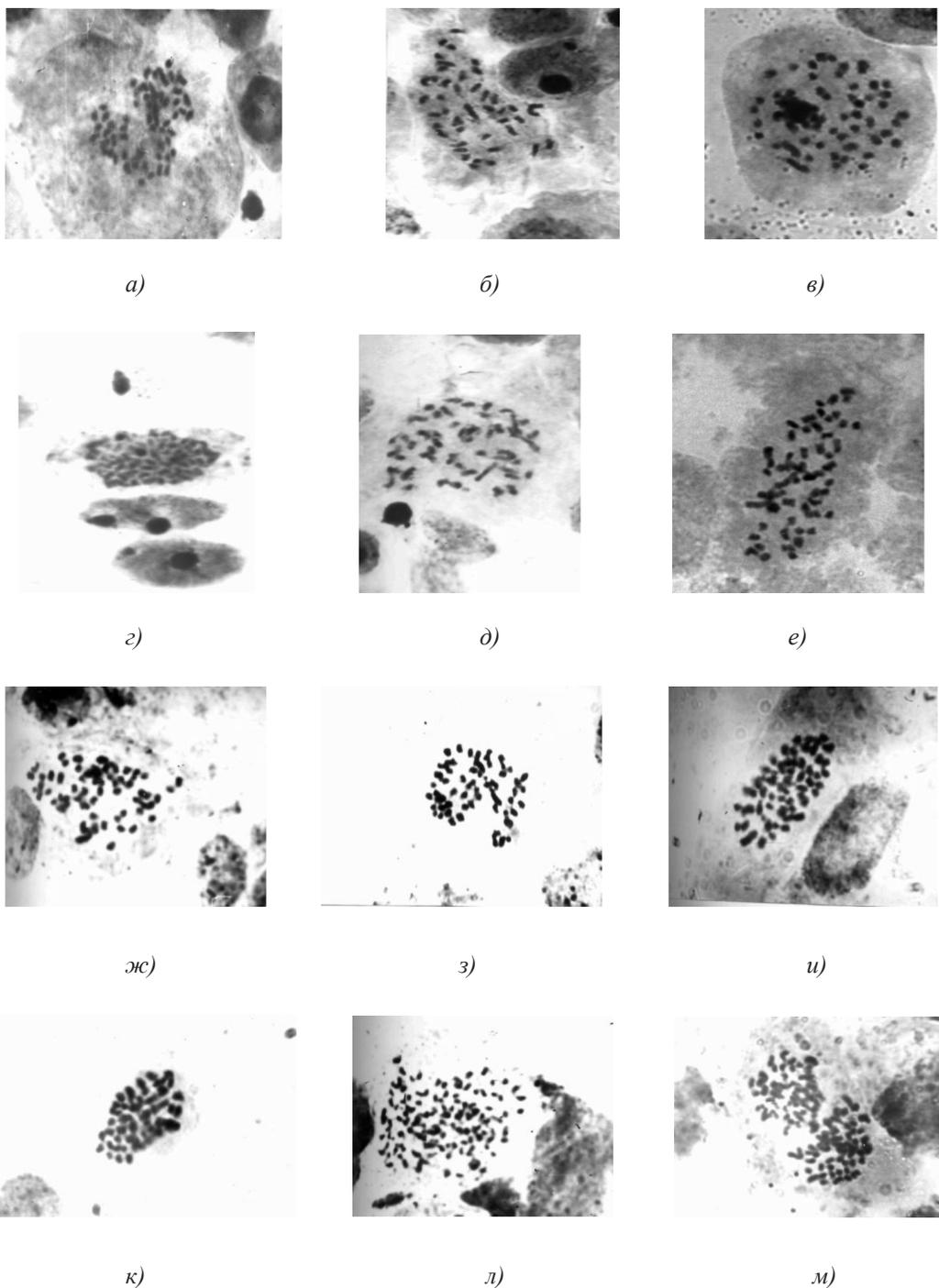


Рис. 3. Числа хромосом в соматических клетках меристемы листьев аллотриплоидного тополя сереющего, отобранного в пойме Хопра: а)  $2n = 57$ ; б)  $2n = 43$ ; в)  $2n = 57$ ; г)  $2n = 57$ ; д)  $2n = 49$ ; и тополя сереющего, отобранного в пойме Дона: ж)  $2n = 57$ ; з)  $2n = 50$ ; и)  $2n = 55$ ; к)  $2n = 38$ ; л)  $2n = 104$ ; м) анафаза анеуплоидной клетки

Предлагаемая технология предназначена для массового получения хозяйственно ценных сортов тополя сереющего – Хоперский 1 и Приярский и выращивания качественного стандартного посадочного материала для создания плантационных насаждений, заключается в следующем. Регенерация растений осуществляется на основе пролиферации пазушных меристем (прямой выгонки пазушных побегов), их укоренения и мультипликации полученных микрорастений, т.е. с помощью модели размножения, исключая этап каллусообразования. При этом в качестве эксплантов используются узловые сегменты активно растущих летних неодревесневших (а не зимних неодревесневших) побегов, применение гормональных питательных сред ограничивается всего одним сроком культивирования (один месяц) первичных эксплантов взрослых деревьев, а на этапе укоренения микропобегов, их доращивания и мультипликации используются одни и те же безгормональные среды. Стандартная схема адаптации и доращивания регенерантов тополя в условиях открытого грунта позволяет получать качественный однородный (стандартный) двухлетний посадочный материал для создания специализированных плантаций в условиях Воронежской области.

В разрезе инновационного проекта эта технология внедрена в Учебно-опытном лесхозе ВГЛУ и созданы экспериментальные плантационные культуры, заложенные регенерантами *in vitro*, которым уже 24 года.

### Заключение

Таким образом, впервые в России в 1976 г. в Воронежской области автором (тогда еще аспирантом кафедры лесных культур и селекции) выявлены аллотриплоиды (миксоплоиды) тополя сереющего, на которых хорошо отработаны методы аналитической (отбор плюсовых насаждений и деревьев) и синтетической (полиплоидия, мутагенез, гибридизация, биотехнология) селекции; вегетативное, включая микрорепликационное размножение, и создание плантационных культур. Женский клон, отобранный в пойме реки Хопер, зарегистрирован как сорт – тополь сереющий Хоперский 1. Мужской клон, отобранный в пойме Дона, близ села Прияр, зарегистрирован как сорт – тополь сереющий Приярский. Вопрос о том, сколько «живет» сорт древесной породы, до сих пор не изучен. Профессор Г.В. Гуляев в лекции на III съезде ВОГиС им. Н.И. Вавилова в 1977 г. указывал, что сорт полевых куль-

тур в сельском хозяйстве живет 10–12 лет, потом появляются какие-то болезни, и этот «сорт» надо улучшать (обновлять) [10]. У тополей, на взгляд автора, сорт может «жить» до 100 и более лет.

### Список литературы / References

1. Tsarev A.P., Tsareva R.P., Tsarev V.A., Fladung M., Wühlisch G. Aspen hybridization: Parents' compatibility and seedlings' growth. *Silvae Genetica*. 2018. V. 67. № 1–2. P. 12–19. DOI: 10.2478/sg-2018-0002.
2. Прошкин Б.В., Климов А.В. Гибридизация *Populus nigra* L. и *P. laurifolia* Ledeb. (*Salicaceae*) в пойме реки Томи // Сибирский лесной журнал. 2017. № 4. С. 38–51. DOI: 10.15372/SJFS20170404.
3. Proshkin B.V., Klimov A.V. Hybridization of *Populus nigra* L. and *P. laurifolia* Ledeb. (*Salicaceae*) in the floodplain of the Tom River // Siberian Forest Journal. 2017. № 4. P. 38–51 (in Russian).
4. Цепотьев Ф.Л. Пути и методы лесной генетики и селекции // Лесоведение. 1967. № 4. С. 3–14.
5. Schepotuyev F.L. Ways and methods of forest genetics and breeding // Lesovedeniye. 1967. № 4. P. 3–14 (in Russian).
6. Царев А.П., Погиба С.П., Лаур Н.В. Селекция лесных и декоративных растений: учебник / под ред. А.П. Царева. М.: МГУЛ, 2014. 552 с.
7. Tsarev A.P., Pogiba S.P., Laur N.V. Breeding of forest and decorative tree plants: textbook od red. A.P. Tsareva. M.: MGUL, 2014. 552 p. (in Russian).
8. Сиволапов А.И., Политов Д.В., Машкина О.С., Белоконь М.М., Сиволапов В.А., Белоконь Ю.С., Табацкая Т.М. Цитологические, молекулярно-генетические и лесоводственно-селекционные исследования полиплоидных тополей // Сибирский лесной журнал. 2014. № 4. С. 50–58.
9. Sivolapov A.I., Politov D.V., Mashkina O.S., Belokon M.M., Sivolapov V.A., Belokon Yu.S., Tabatskaya T.M. Cytological, molecular-genetic and forest-breeding studies of polyploid poplars // Siberian forest journal. 2014. № 4. P. 50–58 (in Russian).
10. Peto F.H. Cytology of poplar species and natural hybrids. *Canadian Jour. Res.*, Ser. 1938. P. 445–455.
11. Sivolapov A., Blagodarova T., Sivolapov V. Forty-five-year monitoring of selection stands of white (*Populus alba* L.), gray (*Populus canescens* Sm.), black poplar (*Populus nigra* L.) and willow (*Salix alba* L.) in Kholer State Natural Reserve. *FORESTRY* 2018. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 226 (2019) 011001. pp. 1–9. DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012068.
12. Сиволапов А.И. Тополь сереющий (*Populus canescens*) – модельный объект генетико-селекционных исследований древесных растений для прорывных технологий в защитном лесоразведении [электронный сборник] // VII Съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров (ВОГиС). Сборник тезисов. 18–22 июня 2019. Санкт-Петербург, 2019. С. 925.
13. Sivolapov A.I. Gray poplar (*Populus canescens* – a model object of genetic and selection studies of woody plants for breakthrough technologies in protective afforestation [electronic collection] // VII Congress of the Vavilov society of geneticists and breeders (VOGIS). Book of abstracts. June 18–22, 2019. St. Petersburg, 2019. P. 925 (in Russian).
14. Машкина О.С. Испытание триплоидных гибридов тополя в условиях Воронежской области // Сибирский лесной журнал. 2016. № 5. С. 72–80. DOI: 10.15372/SJFS20160507.
15. Mashkina O.S. Testing of triploid Poplar Hybrids in Voronezh Region // Siberian Forest Journal. 2016. № 5. P. 72–80 (in Russian).
16. Гуляев Г.В., Березкин А.Н. О генетических принципах воспроизведения сортов зерновых культур // Третий съезд Всесоюзного общества генетиков и селекционеров им. Н.И. Вавилова. Материалы съезда (тезисы работ). I (1) Генетика и селекция растений. Л.: Типография ВИР, 1977. С. 137.
17. Gulyaev G.V., Berezkin A.N. on genetic principles of reproduction of varieties of grain crops // Tretiy s'yezd Vsesoyuznogo obshchestva genetikov i seleksionerov im. N.I. Vavilova. Materialy s'yezda (tezisy robot). I (1) Genetika i selektsiya rasteniy. L.: Tipografiya VIR, 1977. P. 137 (in Russian).

УДК 630.181:635.047:712.41(470.63)

## РЕГУЛЯРНЫЙ ДЕНДРОПАРК СТАВРОПОЛЬСКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА

<sup>1,2</sup>Храпач В.В., <sup>2</sup>Гудиев О.Ю.

<sup>1</sup>ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», Михайловск, e-mail: v.khrapach@yandex.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»,  
Ставрополь, e-mail: gudief@list.ru

Объектом исследования являются растения в регулярном дендропарке, их декоративность и долговечность. Возрастание экологической роли Ставропольского ботанического сада определяет необходимость проведения исследований и получения комплексной информации по состоянию его парковых территорий. Регулярный дендропарк ботанического сада создан с целью сохранения и изучения в специально созданных условиях разнообразных видов деревьев и кустарников для научного, культурно-просветительского и рекреационного использования. Кроме того, частично он используется и как транзитная территория, соединяющая центральную часть ботанического сада с пейзажным дендрарием. Ботанический сад является не только излюбленным местом отдыха горожан, но и уникальным историко-культурным памятником краевого значения, требующим постоянного ухода и реставрации. В результате работы определен видовой состав, санитарное состояние растений, произрастающих в регулярном дендропарке. Через 60 лет после посадки одиннадцать аллей утратили свою декоративность. Деревья, их образующие, оказались нежизнеспособными: подвергались поражению грибными болезнями, повреждению морозами, ломались под тяжестью снега. Так же продолжительность жизни некоторых пород оказалась меньше запланированной, и они стали отмирать по естественным причинам. Оставшиеся 15 аллей высокодекоративны и составляют основу современного регулярного дендропарка. Для сохранения его планировочной структуры необходимо на месте раскорчеванных аллей сделать новые посадки из более устойчивых пород с компактной кроной, долговечные и устойчивые к неблагоприятным условиям произрастания.

**Ключевые слова:** Ставропольский ботанический сад, регулярный дендропарк, анализ посадок, декоративность, древесная порода, «гусиная лапа», планировочная структура, аллея, живая изгородь

## REGULAR DENDROPARK OF THE STAVROPOL BOTANICAL GARDEN

<sup>1,2</sup>Khrapach V.V., <sup>2</sup>Gudiev O.Yu.

<sup>1</sup>North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center, Mikhailovsk, e-mail: v.khrapach@yandex.ru;

<sup>2</sup>Stavropol State Agrarian University, Stavropol, e-mail: gudief@list.ru

The object of research is planting plants in a regular arboretum, their decorativeness and durability. The increasing environmental role of the Stavropol Botanical Garden determines the need for research and comprehensive information on the status of its park areas. Currently, the regular arboretum functions as a landscape object of mass visits, intended for walking, family vacations and cultural events. In addition, it is also partially used as a transit territory connecting the central part of the botanical garden with the landscape arboretum. The Botanical Garden is not only a favorite vacation spot for citizens, but also a unique historical and cultural monument of regional significance, requiring constant care and restoration. As a result of the work, the species composition and sanitary condition of plants growing in a regular arboretum were determined. 60 years after planting, eleven alleys lost their decorative effect. The trees forming them turned out to be not viable: they were affected by fungal diseases, damaged by frost, broke under the weight of snow. Also, the lifespan of some breeds was less than planned, and they began to die for natural reasons. The remaining 15 alleys are highly decorative and form the basis of the modern regular arboretum. To preserve its planning structure, it is necessary to make new plantings of more stable rocks with a compact crown in place of uprooted alleys, durable and resistant to adverse growing conditions.

**Keywords:** Stavropol Botanical Garden, regular arboretum, planting analysis, decorativeness, tree species (kinds of timber, wood), «crow's foot», planning structure, alley, hedge

Необходимость всестороннего изучения историко-культурного достояния ботанических садов и дендрариев принята Международным советом ботанических садов (BGCI) как одна из основных задач для действующих ботанических учреждений. Приоритетным направлением на нынешнем этапе существования ботанических садов является их деятельность по инвентаризации и изучению биоразнообразия растительных сообществ. Исследоваться и охраняться должны не только первозданные, частично или полностью измененные

естественные ландшафты, но и рукотворные историко-культурные ландшафты, в особенности садово-парковые, созданные на основе обширных и разнообразных коллекций ботанических садов. В результате работы определен видовой состав и санитарное состояние растений, произрастающих в регулярном дендропарке. Практическая значимость работы состоит в изучении и внедрении современных элементов декоративного оформления территорий. Это особенно важно на новом уровне благоустройства города и края. С учетом выше-

изложенного эстетическая оценка регулярного парка Ставропольского ботанического сада является актуальной. Это территория, имеющая геометрически правильную планировку, с выраженной симметричностью и регулярностью композиции. Характеризуется прямыми аллеями, являющимися осями симметрии, партером правильной формы, стрижкой деревьев и кустарников с приданием посадкам разнообразных геометрических форм.

Цель исследования: изучить закономерности формирования архитектурно-планировочной структуры, видового состава и санитарного состояния растительности на территории регулярного дендропарка Ставропольского ботанического сада в период с 1959 по 2019 г., и на основе полученных данных определить приемлемые варианты его реконструкции.

Новизна полученных результатов исследования состоит в том, что впервые изучена структура, пространственное размещение, санитарное состояние зеленых насаждений регулярного дендропарка Ставропольского ботанического сада и дана их комплексная оценка.

#### Материалы и методы исследования

Регулярный дендропарк в Ставропольском ботаническом саду заложен в 1959–1962 гг. на площади 12,31 га. В 2019 г. была проведена детальная инвентаризация зеленых насаждений методом сплошного перечета всех произрастающих в регулярном дендропарке деревьев с характеристикой каждого экземпляра [1]. Были получены данные, которые сравнивались с характером насаждений парка в более ранние периоды времени (1961–2010 гг.). Также исследование выполнялось методом сравнения историко-архивных материалов (исторические фотографии, планы, научные отчеты, статьи) с данными натурного обследования (2019 г.), в результате чего были проанализированы и выявлены изменения планировки территории и характера насаждений парка.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Регулярный дендропарк, состоящий из 24 аллей, является первым постоянным насаждением, закладкой которого началось строительство ботанического сада осенью 1959 г. Основная сеть аллей была посажена в 1960 г., а в 1961 г. их посадка была завершена. Общая протяженность аллей составляла 3202 м, на которые ушло 1363 са-

женца. В каждой аллее были посажены живые изгороди, при создании которых было высажено 17720 шт. кустарников. Живые изгороди партера были высажены частично в 1961 г. (сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris* L.) 1770 шт.) и частично в 1962 г. (бирючина обыкновенная (*Ligustrum vulgare* L.) 2690 шт.).

Надо отметить, что ученые ботанического сада при создании регулярного дендропарка не ограничивались простым соблюдением законов геометрии и перспективы. Они корректировали и улучшали перспективу, формируя иллюзию увеличенных расстояний. Это было достигнуто путём постепенного сужения липовых аллей партера. Этот способ позволяет создать ощущение более длинной перспективы, и размер сада кажется больше, чем есть на самом деле. А сам дендропарк был заложен по принципу «гусиной лапы» (фран. *patte d'Oie*) – когда три аллеи выходят из одной точки.

В 1962 г. производилась замена больных и погибших деревьев в аллеях, и в основном была завершена обсадка их живыми изгородями из кустарника. Деревья в аллее клена остролистного «Шаровидного» (*Acer platanoides* «Globosa») погибли от болезни вилт (*Verticillium dahlia* Kleb.). В 1962 г. все деревья клена в этой аллее были выкопаны и заменены рябиной обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.) (рис. 1) [2, с. 20–25].

За период 1966–1968 гг. были заменены две аллеи. Вместо аллеи клёна красного (*Acer rubrum* L.), который постепенно погибал от вилта, в декабре 1966 г. посажена аллея платана восточного (*Platanus orientalis* L.). Айлант высочайший (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle), в течение ряда лет обмерзал и не мог выйти на штамб, что придавало аллее некрасивый вид. В ноябре 1967 г. он был заменен орехом черным (*Wallia nigra* (L.) Alef.) А осенью 1974 г. взамен выпавшего ореха черного был посажен дуб красный (*Quercus rubra* L.) [3, с. 19].

Предварительные итоги создания регулярного парка, проведенные в 1975 г., т.е. спустя 15 лет после посадки, показали, что из деревьев лучшие результаты дают липа кавказская (*Tilia caucasica* Rupr.), черемуха обыкновенная (*Prunus padus* L.), каштан конский (*Aesculus hippocastanum* L.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), р. мучнистая (*Sorbus aria* (L.) Crantz.), орех грецкий (*Juglans regia* L.), дуб каштановый (*Quercus castaneifolia* C.F. Mey.), бархат амурский (*Phellodendron amurense* Rupr), сосна обыкновенная (*Pinus*



## Анализ аллей регулярного парка

№ п/п	Название деревьев в аллеях (год посадки)	Длина аллеи, м	Количество деревьев, шт.	Современное состояние	Название кустарников в живых изгородях	Количество кустарников, шт.	Современное состояние
1	Дуб каштанолистный (1960 г.)	175	69	68 шт. в удовлетворительном состоянии	Чубушник обыкновенный	1430	удален в 1999–2000 гг.
2	Бархат амурский (1960 г.)	115	44	29 шт. неудовлетворительное	Дерен белый	1035	нуждается в видовой прочистке и омолаживающей обрезке
3	Черемуха обыкновенная (1960 г.)	72	28	удалена в 2005 г.	Амзония узколистная	650	удалена в 2005 г.
4	Черешня лесная (1960 г.)	42	17	деревья выпали	Форзиция промежуточная	330	большая часть выпала, оставшиеся растения нуждаются в видовой прочистке и омолаживающей обрезке
5	Грецкий орех (1960 г.)	174	66	удален в 2005 г.	Сирень обыкновенная	1467	удалена в 1999–2000 гг.
	Лещина древовидная (2010 г.)	64	25	25 шт. в удовлетворительном состоянии			
6	Боярышник обыкновенный «Розовоцветковый» (1960 г.)	70	34	удален в 2009 г.	Магония падуболистная	358	удалена в 2009 г.
7	Бобовник анагириolistный (1960 г.)	60	28	удален в 1978 г.	Магония падуболистная	320	удален в 1978 г.
8	Сосна крымская (1960 г.)	66	27	27 шт. в удовлетворительном состоянии	Спирея японская	360	удалена в 1999–2000 гг.
9	Берёза бородавчатая (1960 г.)	35	17	17 шт. в удовлетворительном состоянии	Барбарис Тунберга	98	удален в 1999–2000 гг.
10	Береза пушистая (1960 г.)	52	26	26 шт. в удовлетворительном состоянии	Бирючина обыкновенная	614	удалена в 1999–2000 гг.
11	Робиния лжеакация «Шаровидная» (1960 г.)	84	40	удалена в 1977 г.	Айва японская	880	удалена в 1977 г.
12	Тополь канадский (1960 г.)	308	111	срезан на пенёк в 2004 г.	Вяз мелколистный	2340	срезан на пенёк в 2004 г.
13	Катальпа бигониевая (1961 г.) Лиственница японская (2010 г.)	140	52 42	удалена в 2009 г. 39 шт. в удовлетворительном состоянии	Барбарис (смесь)	565	удален в 2009 г.
14	Рябина мучнистая (1960 г.)	100	46	удалена в 2005 г.	Виноград девичий	97	удален в 1999–2000 гг.

<b>Окончание таблицы</b>							
№ п/п	Название деревьев в аллеях (год посадки)	Длина аллеи, м	Количество деревьев, шт.	Современное состояние	Название кустарников в живых изгородях	Количество кустарников, шт.	Современное состояние
15	Каштан конский (1960 г.)	97	39	37 в неудовлетворительном состоянии	Каштан съедобный	325	нуждается в видовой прочистке и омолаживающей обрезке
16	Клен красный (1960 г.) Липа восточный (1966 г.)	108	39	выпал выпал	Граб кавказский	960	в удовлетворительном состоянии, нуждается в видовой прочистке и омолаживающей обрезке и формировке
17	Айлант высочайший (1960 г.) Орех черный (1967 г.) Дуб красный (1974 г.)	240	97	удален удален 86 шт. в удовлетворительном состоянии	Спирея Бумальда	1300	удалена в 1999–2000 гг.
18	Сосна обыкновенная (1960 г.)	56	27	27 шт. в удовлетворительном состоянии	Спирея Ван-Гутта		удалена в 1999-2000 гг.
19	Клен остролиственный «Шаровидный» (1960 г.) Рябина обыкновенная (1962 г.)	100	47	удален в 1962 г. удалена в 2013 г.	Снежноягодник	1140	удален в 2013 г.
20	Тополь пирамидальный (1960 г.)	290	175	72 шт. в неудовлетворительном состоянии	Клен полевой	2550	нуждается в видовой прочистке и омолаживающей обрезке
21	Бук восточный (1960 г.)	45	16	15 шт. в удовлетворительном состоянии	Бук восточный	168	удалена в 1999–2000 гг.
22	Каркас западный (1960 г.)	94	21	удален в 2006 г.	Спирея городчатая		удалена в 2006 г.
23	Липовая аллея № 1 (1960 г.)	330	139	134 шт. в удовлетворительном состоянии	Сирень обыкновенная Бирючина обыкновенная	880 1330	удалена в 1999–2000 гг. удалена в 1999–2000 гг.
24	Липовая аллея № 2 (1960 г.)	330	132	130 шт. в удовлетворительном состоянии	Сирень обыкновенная Бирючина обыкновенная	890 1360	удалена в 1999–2000 гг. удалена в 1999–2000 гг.
	ИТОГО	3202	1451			21410	

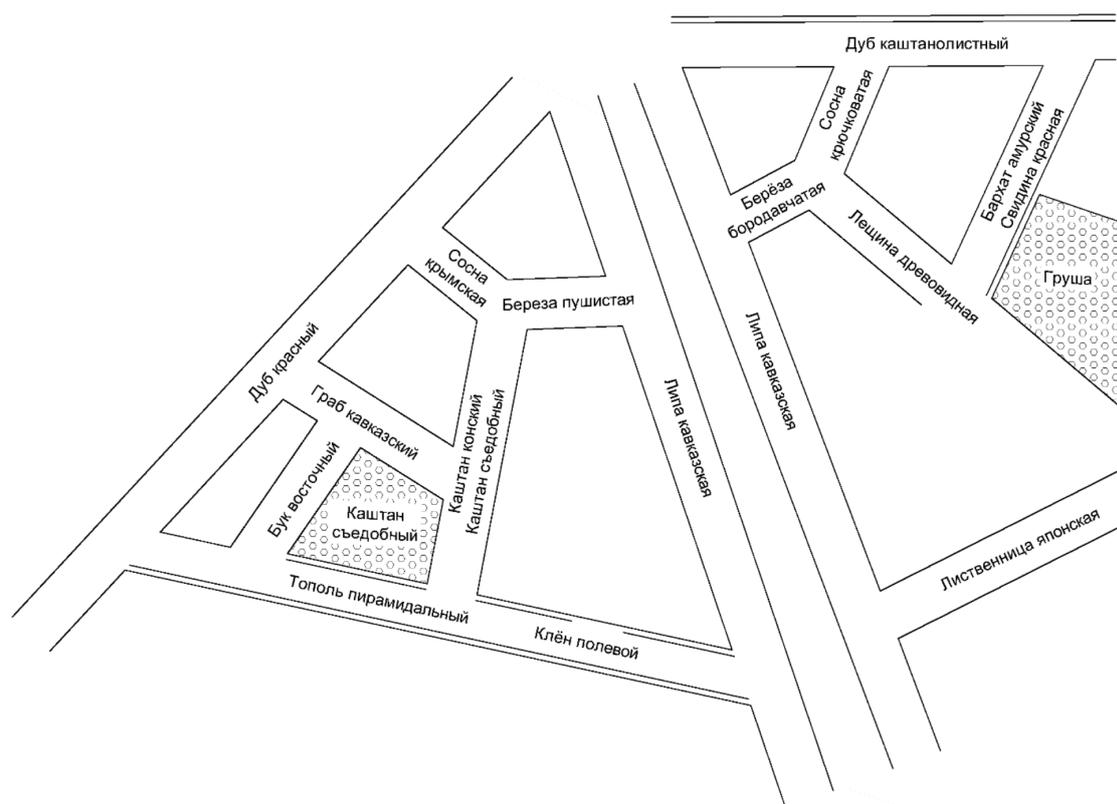


Рис. 2. Схема регулярного дендропарка в 2019 г.

Инвентаризация, проведенная в 2008 г., показала, что аллеи липы кавказской, березы повислой (*Betula pendula* Roth), березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.), сосны обыкновенной, сосны крымской, дуба каштаноллистного, дуба красного, бука восточного прекрасно сохранились, высокодекоративны, с хорошо сформированными кронами. Средняя высота деревьев от 14,9 до 20,0 м, а диаметр ствола на высоте 1,3 м составляет от 38 до 51 см. У бука восточного 30% растений имеют механические повреждения и нуждаются в лечении дупел. Аллеи из граба кавказского (*Carpinus betulus* L.) и каштана конского имеют удовлетворительное состояние и нуждаются в прочистке и формировке. Эти аллеи средней высоты (13–14 м). В предыдущие годы граб был спилен на пень и на момент обследования имел множество стволов в диаметре 7 см [6].

В 2010 г. на месте катальпы бигнониевидной (*Catalpa bignonioides* Walter) была заложена аллея лиственницы японской (*Larix kaempferi* (Lamb.) Carriere), а на месте ореха грецкого – аллея лещины древовид-

ной (*Corylus colurna* L.). При этом длина аллеи сократилась вдвое (таблица, рис. 2) [7, с. 119–133].

В 1961 г. был заполнен один боскет на площади 0,45 га 119 саженцами груши обыкновенной (*Pyrus communis* L.). К 2019 г. в боскете осталось 96 деревьев груши в удовлетворительном состоянии.

В 1962 г. продолжилось заполнение боскетов. Между аллеями бука восточного и каштана конского на площади 1534 м<sup>2</sup> было высажено 47 саженцев каштана посевного. В 2019 г. осталось всего 27 деревьев в неудовлетворительном состоянии. Внедрившиеся самосевом местные породы деревьев вытесняют каштан.

В 1962 г. в боскете были созданы два лабиринта. Это была переработанная компиляция лабиринтов из Павловского и Версальского парков (рис. 3). Для их создания было использовано 730 саженцев спиреи дубровколистной (*Spiraea chamaedryfolia* L.) и 4330 саженцев бирючины обыкновенной. Однако из-за длительного отсутствия ухода на эту территорию внедрился самосев местных пород

деревьев. Деревья полностью вытеснили кустарник и в 2013 г. были раскорчеваны. В свободных боскетах, выращивался посадочный материал декоративных растений для реализации и размножения. Здесь же находились питомники и школы дендрологических интродуцентов, а также коллекционный питомник многолетних трав.

На сегодняшний день одиннадцать аллей оказались нежизнеспособными и утратили свою декоративность. Они раскорчеваны полностью или частично (бобовник анагириolistный, боярышник обыкновенный «Розовоцветковый» (*Crataegus laevigata* f. *Splendens* C.K. Schneid), робиния лжеакация «Шаровидная», катальпа бигнониевидная, черемуха быкновенная, черешня птичья, рябина мучнистая, рябина обыкновенная, каркас западный, орех грецкий, тополь канадский). Все эти породы оказались недолговечными, либо постоянно обмерзали во время заморозков, либо сильно угнетались соседними деревьями. Аллеи бархата амурского и оставшаяся часть черешни лесной утратили свою декоративность и их необходимо удалить. На аллее тополя пирамидального убрать тополь в связи с естественным старением, а у клена полевого провести фор-

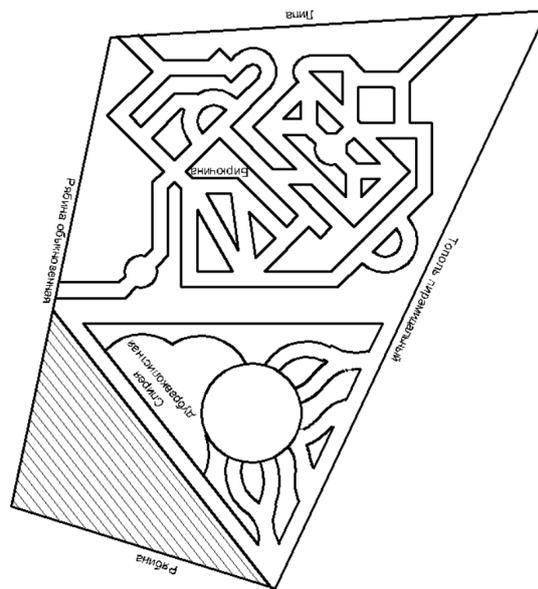
мирующую обрезку и видовую прочистку. Необходимо закончить раскорчевку тополя канадского.

Следует отметить, что преждевременное старение древесных интродуцентов характерно для засушливых районов. Ставропольский ботанический сад расположен в зоне неустойчивого увлажнения. Таким образом, даже такие признанные декоративные породы, как, например, каштан конский обыкновенный, в наших условиях могут не давать желаемый декоративный эффект в течение запланированного периода своего существования [8–10].

Таким образом береза пушистая, б. повислая, бук восточный, дуб каштанolistный, д. красный, липа кавказская, сосна обыкновенная, с. крымская – по прошествии шестидесяти лет после посадки показали себя перспективными породами для аллей в условиях Центрального Предкавказья. Растения здоровые, с хорошо развитой кроной и ветвями без каких-либо заметных повреждений, с крупными сочного зелёного цвета листьями. Прирост текущего года нормальный для данных видов и возраста. Внешний вид насаждений хороший. По шкале декоративности состояние растений можно оценить как «отличное».



а)



б)

Рис. 3. Лабиринт ботанического сада: а – место расположения; б – схема лабиринта

Для сохранения планировочной структуры регулярного дендропарка необходимо на месте раскорчёванных аллей сделать новые посадки из более устойчивых пород с компактной кроной, долговечные и устойчивые к неблагоприятным условиям произрастания: дуб черешчатый ф. Пирамидальная (*Quercus robur* 'Fastigiata'), липа Оливера (*Tilia oliveri* Szyszl.), липа японская (*Tilia japonica* (Miq.) Simonk), лириодендрон тюльпанный (*Liriodendron tulipifera* L.), ель колючая (*Picea pungens* Engelm.), пихта кавказская (*Abies nordmanniana* (Steven) Spach), псевдоцуга Мензиса (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), сосна Веймутова (*Pinus strobus* L.).

### Заключение

В результате изучения историко-архивных материалов (исторические фотографии, планы, научные отчеты, статьи) были проанализированы и выявлены изменения планировки территории и характера насаждений регулярного дендропарка Ставропольского ботанического сада.

Проведена детальная инвентаризация существующих насаждений. Преобладающее количество растений в парке находится в удовлетворительном состоянии и значительная их часть – в хорошем.

Необходимо выполнить формовочную и санитарную обрезку сохраняемых деревьев, а также сопутствующие фитосанитарные мероприятия по их лечению.

Определены приемлемые варианты реконструкции регулярного дендропарка путем посадки в аллеях адаптированных к местным условиям и успешно прошедшим первичный интродукционный эксперимент новых видов древесных растений.

Сохранение планировочной структуры, реконструкция существующих посадок, благоустройство, развитие необходимой инфраструктуры для полного использования рекреационного потенциала сада – выход на современный уровень, сегодня должно быть вынесено на первый план в стратегии его дальнейшего развития. Это даст возможность повысить рекреационное качество насаждений и подтвердить статус ботанического сада как природоохранного объекта – памятника садово-паркового искусства [11].

### Список литературы / References

1. Кругляк В.В. Адаптивные системы озеленения населенных пунктов Центрального Черноземья: дис. ... докт. с.-х. наук. Волгоград, 2013. 367 с.

Kruglyak V. V. Adaptive systems of greening of settlements of the Central Chernozem region: dis. ... dokt. s.-kh. nauk. Volgograd, 2013. 367 p. (in Russian).

2. Отчет о работе Ставропольского ботанического сада за 1962 год. Ставрополь, 1962. 65 с.

Report on the work of the Stavropol Botanical Garden for 1962. Stavropol, 1962. 65 p. (in Russian).

3. Отчет о работе Ставропольского ботанического сада за 1966–1968 гг. Ставрополь, 1968. 79 с.

Report on the work of the Stavropol Botanical Garden for 1966–1968. Stavropol, 1968. 79 p. (in Russian).

4. Отчет о работе Ставропольского ботанического сада за 1974 год. Т. 1. Ставрополь, 1974. 70 с.

Report on the work of the Stavropol Botanical Garden for 1974. T. 1. Stavropol, 1974. 70 p. (in Russian).

5. Отчет о работе Ставропольского ботанического сада за 1978 год. Т. 1. Ставрополь, 1978. 84 с.

Report on the work of the Stavropol Botanical Garden for 1978. T. 1. Stavropol, 1978. 84 p. (in Russian).

6. Храпач В.В., Кольцов А.Ф., Пятко Е.В., Чебанная Л.П. Характеристика регулярного парка Ставропольского ботанического сада им. В.В. Скрипчинского // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию Ставропольского ботанического сада им. В.В. Скрипчинского и 100-летию профессора В.В. Скрипчинского. Ставрополь, 2009. С. 216–221.

Khrapach V.V., Koltsov A.F., Pyatko E.V., Chebannaya L.P. Characteristic of the regular park of the Stavropol Botanical Garden named after V.V. Skripchinsky // Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 50-letiyu Stavropol'skogo botanicheskogo sada im. V.V. Skripchinskogo i 100-letiyu professora V.V. Skripchinskogo. Stavropol, 2009. P. 216–221 (in Russian).

7. Отчет о работе Ставропольского ботанического сада за 2019 год. Ставрополь, 2019. 196 с.

Report on the work of the Stavropol Botanical Garden for 2019. Stavropol, 2019. 196 p. (in Russian).

8. Бардакова С.А. Роль дендрологических коллекций в сохранении генофонда живых растений // Вестник АПК Ставрополья. 2018. № 1 (29). С. 78–80. DOI: 10.25930/nvtf-7659.

Bardakova S.A. Role of dendrology collections in preservation of the gene pool of live plants // Vestnik APK Stavropol'ya. 2018. № 1 (29). P. 78–80 (in Russian).

9. Кожевников В.И., Храпач В.В., Гудиев О.В. Интродукционная деятельность ботанических садов и дендрариев Ставропольского края // Вестник АПК Ставрополья. 2016. № 1 (21). С. 117–122.

Kozhevnikov V.I., Khrapach V.V., Gudiev O.V. The introduction of botanical gardens and arboreta of the Stavropol Territory // Vestnik APK Stavropol'ya. 2016. № 1 (21). P. 117–122 (in Russian).

10. Неженцева Т.В. Итоги и перспективы интродукции родового комплекса *Pinus* L. в Ставропольском ботаническом саду // Вестник АПК Ставрополья. 2019. № 2 (34). С. 70–73. DOI: 10.31279/2222-9345-2019-8-34-70-73.

Nezhentseva T.V. Results and prospects of the introduction of the generic complex *Pinus* L. in the Stavropol Botanical Garden // Vestnik APK Stavropol'ya. 2019. № 2 (34). P. 70–73 (in Russian).

11. Храпач В.В., Щегринцев Н.В. Влияние благоустройства территории на рекреационную активность населения в Ставропольском ботаническом саду // Субтропическое и декоративное садоводство. 2019. № 71. С. 236–244. DOI: 10.31360/2225-3068-2019-71-236-244.

Khrapach V.V., Shchegrinets N.V. The influence of landscaping on people's recreational activity in Stavropol botanical garden // Subtropicheskoye i dekorativnoye sadovodstvo. 2019. № 71. P. 236–244 (in Russian).

## СТАТЬИ

УДК 553.98:621.6

**МЕТОДИКА ДИАГНОСТИКИ ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И НЕИСПРАВНОСТЕЙ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ (УЭЦН) В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОМЫСЛОВЫХ, ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ И ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ****Большунов А.В., Мостакалов К.А.***Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск,  
e-mail: artembolschunov@yandex.ru*

Статья посвящена методике диагностики неисправностей установок электроцентробежных насосов с использованием электротехнических и геологических параметров. Электрический погружной насос является важным цифровым механическим оборудованием на нефтяных месторождениях, что рождает необходимость проведения мониторинга состояния и диагностики неисправностей системы работы электроцентробежных насосов. Автор предлагает онлайн-методику, которая основывается на электрических параметрах и параметрах производства. Чтобы реализовать диагностику неисправностей электроцентробежных насосов в земле, были разработаны алгоритмы с учетом особенностей извлечения. Данные алгоритмы объединяют электрические параметры с производственными параметрами, которые разделены недавно разработанным газожидкостным двухфазным расходомером. Между тем электрические параметры являются основными, а производственные параметры являются вспомогательными из них. Функции параметров извлекаются из различных неисправностей с помощью цифровой обработки сигналов, а исследования точно контролируют девять типичных рабочих условий неисправностей. Важно отметить, что предложенный метод значительно снижает воздействие на датчики в забое скважины, и данные испытаний показывают, что предложенный способ обладает такими преимуществами, как низкая стоимость и высокая эффективность. В этой статье изучаются принцип работы УЭЦН и теория алгоритма диагностики неисправностей. В исследовании предлагается методика создания базы признаков текущих электрических параметров и параметров производства в различных режимах неисправности УЭЦН. Чтобы уменьшить влияние производственной среды и комплекса забойных условий, в грунте получены все параметры, которые могут отражать состояние подземных работ. Кроме того, в исследовании разрабатываются алгоритмы, основанные на полевом опыте и схематических диаграммах, которые указывают на то, что метод эффективно улучшает добычу нефти.

**Ключевые слова:** установка погружного электроцентробежного насоса, электротехнические параметры, геологические параметры, неисправности УЭЦН, диагностики неисправностей УЭЦН

**METHODOLOGY FOR REAL-TIME DIAGNOSTICS OF ACTUAL STATE AND FAULTS OF ELECTRIC CENTERING PUMP PLANTS USING FIELD, ELECTRICAL AND GEOLOGICAL PARAMETERS****Bolshunov A.V., Mostakalov K.A.***National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: artembolschunov@yandex.ru*

The article is devoted to the method for diagnosing malfunctions of electric centrifugal pump installations using electrical and geological parameters. The electric submersible pump is an important digital mechanical equipment in oil fields, which gives rise to the need for monitoring the condition and diagnosing malfunctions of the operation system of electric centrifugal pumps. The author offers an online technique, which is based on electrical parameters and production parameters. These algorithms combine electrical parameters with production parameters, which are separated by a newly developed gas-liquid two-phase flow meter. Meanwhile, electrical parameters are the main ones, and production parameters are auxiliary ones. Parameter functions are extracted from various faults using digital signal processing, and research accurately controls nine typical fault operating conditions. It is important to note that the proposed method significantly reduces the impact on the sensors in the bottom of the well, and test data show that the proposed method has such advantages as low cost and high efficiency. This article explores how the ESP works and the theory of the fault diagnosis algorithm. The study proposes a methodology for creating a library of signs of current electrical parameters and production parameters in various ESP fault modes. To reduce the influence of the production environment and the complex of bottomhole conditions, all parameters that can reflect the state of underground work have been obtained in the ground. In addition, the study develops algorithms based on field experience and schematic diagrams that indicate that the method effectively improves oil production.

**Keywords:** submersible electric centrifugal pump installation, electrical parameters, geological parameters, ESP faults, diagnostics of ESP faults

С постоянным развитием науки и техники люди все больше внимания уделяют нехватке энергии и загрязнению окружающей среды. В частности, эксплуатация нефтяных месторождений предъявляет более

высокие требования к добыче, разработке, оценке и другим технологиям. Установки электроцентробежных насосов (УЭЦН) широко используются на нефтяных месторождениях благодаря их преимуществам,

связанным с высоким подъемом, большим рабочим объемом и удобством управления. Поэтому очень важно провести исследования по теории и технологии диагностики неисправностей УЭЦН. В настоящее время обнаружение рабочего состояния и диагностика неисправностей УЭЦН в точке источника сигнала в основном включают в себя традиционные методы обнаружения и современные методы обнаружения [1, с. 250].

Традиционные методы обнаружения включают в себя текущий метод карты и схему контроля эффективности управления системой. Современные методы обнаружения в основном включают в себя анализ вибрации и диагностику рабочего состояния. Существует много исследовательских методов анализа различных видов сигналов. В статье изучаются принципы работы УЭЦН и теория алгоритма диагностики неисправностей. В исследовании предлагается методика создания базы признаков текущих электрических параметров и параметров производства в различных режимах неисправности УЭЦН.

### Материалы и методы исследования

#### *Системные компоненты УЭЦН*

Мощность заземления подается в погружной электродвигатель через кабель погружного насоса под трубой в скважину. Затем двигатель приводит многоступенчатый центробежный насос во вращение для создания центробежной силы, поднимая сырую нефть в скважине на землю. УЭЦН состоит из скважинной, наземной части и промежуточных частей. Наземная часть состоит из трансформаторной группы, автоматической консоли и вспомогательного оборудования, а промежуточная часть состоит из кабеля и трубки. Стальной трос используется для крепления кабеля и колонны труб. Наконец, скважинная часть – это в основном блок УЭЦН. Скважинная часть – это основной блок УЭЦН [2].

#### *Шесть наборов параметров УЭЦН*

Недавно разработанный трубчатый газожидкостный двухфазный расходомер обладает преимуществом измерения добычи газа и добычи жидкости в режиме реального времени. Значение соотношения газ – жидкость можно получить, рассчитав эти два набора параметров. Однофазный ток и однофазное напряжение можно получить из электрического шкафа. Давление эксплуатационной колонны УЭЦН получа-

ют из устья скважины с помощью датчика давления. Шесть параметров передаются в центр управления через терминал оборудования через интернет.

По сравнению с преимуществами получения сигнала в традиционных методах обнаружения и современных методах обнаружения выбранные шесть наборов параметров связаны с параметрами в диагностическом приборе. В этой статье приняты текущие параметры в традиционном методе обнаружения и некоторые связанные параметры в современном методе обнаружения. Кроме того, обмотка, температура, ток утечки и вибрация двигателя в современном методе обнаружения оказывают определенное влияние на рабочий ток и напряжение двигателя. Температура всасывания на входе, давление на выходе и давление на входе все еще оказывают влияние, которое отражено в производственных параметрах. Следовательно, диагностический прибор обеспечивает теоретическую основу для выбора параметров. Однако эти параметры диагностического прибора получены из скважины.

#### *Механизм измерения сигнала*

Некоторые формулы используются для определения релевантности попытки и надежности метода измерения [3, с. 315]. Давление всасывания насоса равно высоте столба жидкости над впускным отверстием плюс давление рукава.

$$D_{\text{вс}} = H + \Delta D_p, \quad (1)$$

где  $D_{\text{вс}}$  – давление всасывания насоса;  
 $H$  – высота столба жидкости над всасывающим отверстием;  
 $\Delta D_p$  – давление в рукаве.

Таким образом, давление в забое скважины может быть выражено как:

$$D_{\text{зс}} = D_p + (H - l_p) * \bar{\rho}, \quad (2)$$

где  $D_{\text{зс}}$  – давление в забое скважины;  
 $H$  – высота насоса;  
 $\bar{\rho}$  – средняя плотность жидкости.

Согласно модели прогнозирования производительности, выход жидкости под давлением на входе в насос может быть получен путем

$$Q = f(D_{\text{зс}}), \quad (3)$$

где  $Q$  – выходной сигнал, который можно выразить как

$$Q = Q_1 + Q_g, \quad (4)$$

где  $Q_1$  – производство жидкости.  
 $Q_g$  – производство газа;

$u_1, u_2, \dots, u_8, u_9$  – это набор неисправностей, и неисправности, включая недогрузку, перегрузку, газовый эффект, блокировку газа, недостаточную подачу жидкости в нефтяных скважинах, утечку инструментальной колонны, напряжение выше номинального значения, напряжение ниже номинального значения, изменения давления всасывания, тока, напряжения, давления в забое скважины и выхода жидкости, которые очевидны. Поэтому эти шесть параметров используются для оценки условий работы УЭЦН. Эти отношения могут быть выражены как [4]:

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_8, u_9\} = \{D_{вс}, I, V, D_{зс}, Q\}. \quad (5)$$

*Алгоритмы распознавания признаков*

Особенности параметров УЭЦН анализируются из разных условий для разных неисправностей. Принципиальная схема алгоритмов распознавания объектов показана на рис. 1. Кроме того, главное суждение принимает методы предварительного суждения и методы точного анализа. Метод предварительного решения может распознать, есть ли ошибка в простом суждении. Метод точного анализа может точно диагностировать модели ошибок.

Описаны несколько категорий неисправностей и извлечены тренды изменения параметров. Изменяющиеся тенденции включают в себя ожидание и дисперсию. Параметры включают электрические параметры и параметры про-

изводства. Согласно теории вероятностей и статистики в текущем исследовании ожидание отражает среднее значение случайной величины. Максимальное значение и минимальное значение отражают отклонение данных. На самом деле временная область используется для измерения степени между случайной величиной и ее ожиданием.

*Типичные ошибки*

В этом разделе анализируются девять типичных неисправностей, встречающихся в процессе производства, которые в основном представлены электрическими параметрами и производственными параметрами. С учетом состояния поля составлены девять принципиальных схем, которые могут отражать изменяющийся тренд параметров. Похожая методика рассмотрена в [5, с. 315]. По сравнению с изменением фактических параметров приложения эти диаграммы могут использоваться в качестве справочных. Исходное состояние девяти проанализированных принципиальных схем является нормальным, поэтому изменения в нормальном диапазоне показаны в первом сегменте параметров.

Случай 1: В нормальном состоянии расчетная мощность и фактическая мощность почти равны нормальному значению. Кроме того, давление масла и температура на устье находятся в нормальном диапазоне колебаний, и на рис. 2 показано, что параметры находятся в нормальном диапазоне.

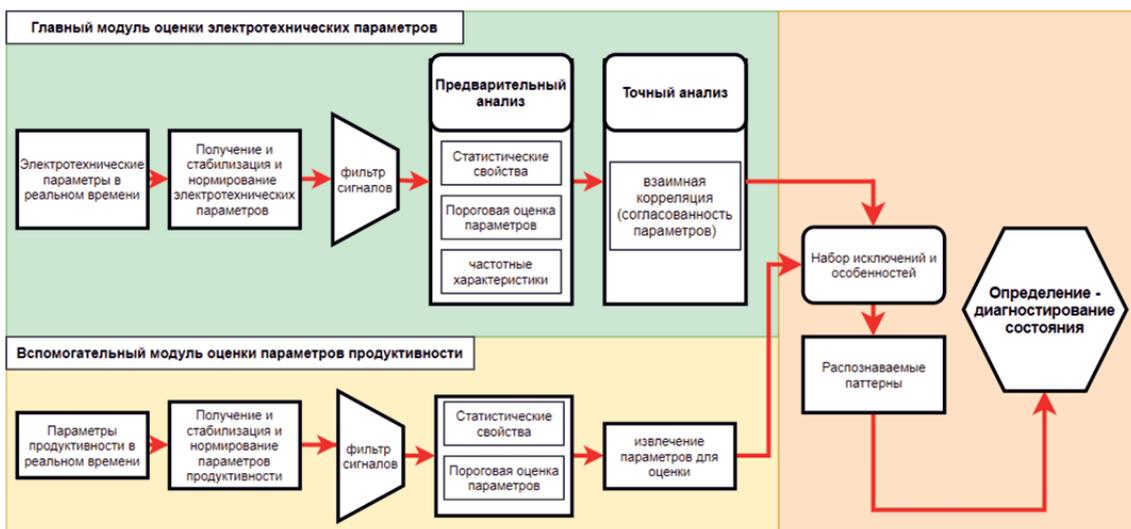


Рис. 1. Принципиальная схема алгоритмов распознавания объектов

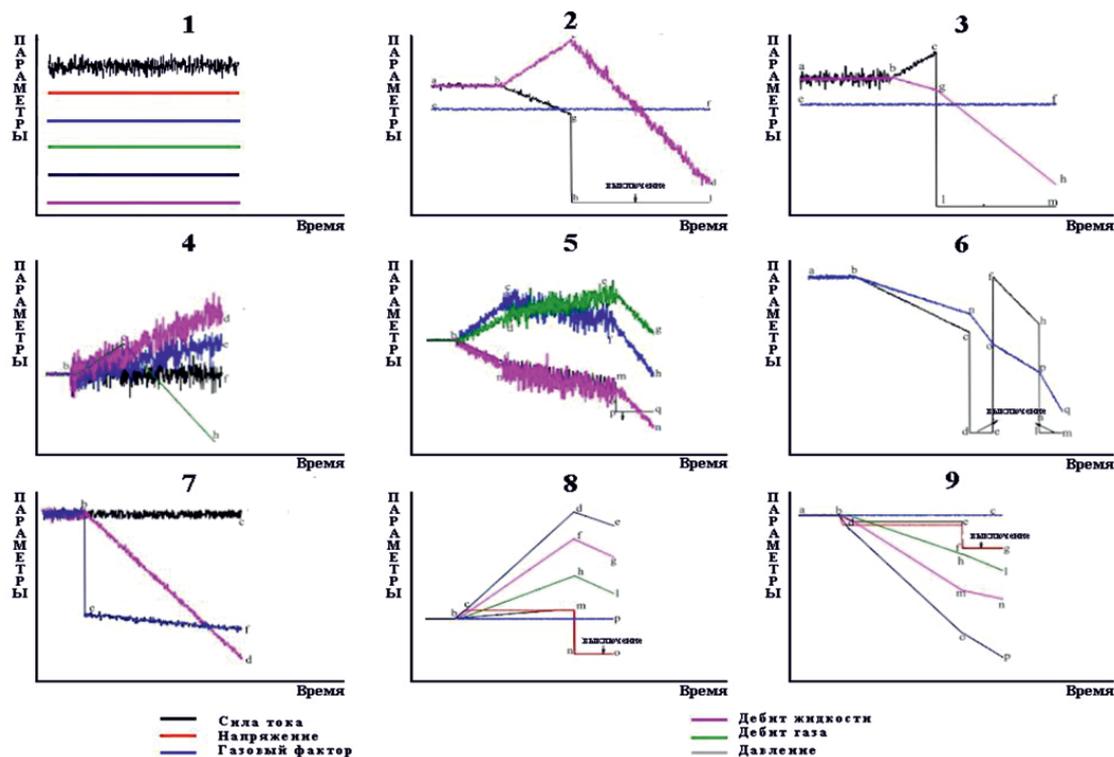


Рис. 2. Типичные неисправности, встречающиеся в процессе работы УЭЦН

Случай 2: Сегмент а – в, показанный на рис. 2, указывает на то, что двигатель работает нормально. Во время непрерывной работы однофазный ток уменьшается из-за УЭЦН в состоянии недостаточной нагрузки, как показано в сегменте в – г. Когда ток падает до заданного значения отключения при недогрузке, двигатель некоторое время продолжает работать при заданном значении недогрузки. Сегмент г – в указывает на то, что ток неожиданно обнуляется после длительной работы в режиме недостаточной нагрузки. Производство жидкости увеличивается из-за небольшого выбора нагрузки, как показано при нормальных условиях, поэтому первый сегмент параметров находится в нормальном диапазоне изменений.

Случай 3: аналогично, сегмент а – в, показанный на рис. 2, указывает на то, что УЭЦН работает хорошо. Во время непрерывной работы ток увеличивается из-за перегрузки в погружном насосе, что показано в сегменте в – г. Когда ток возрастает до установленного значения отключения при перегрузке, двигатель продолжает работать при установленном значении перегрузки в течение некоторого времени. Сегмент г – в указывает на то, что ток внезапно

обнуляется. После длительной работы в режиме перегрузки добыча жидкости уменьшается из-за большого выбора нагрузки, как показано в сегменте в – г. После остановки производство жидкости продолжает снижаться, как показано в сегменте г – в. Сегмент е – в указывает на то, что соотношение газ – жидкость не изменяется в течение всего рабочего режима.

Случай 4: Аналогично, сегмент а – в, как показано на рис. 2, указывает на то, что УЭЦН работает правильно. Затем давление на входе часто колеблется, поэтому УЭЦН сильно подвержена влиянию газа. В то же время грузоподъемность насоса становится слабее. Добыча газа увеличивается в сегменте в – г. Кривая тока колеблется из-за большого количества свободного газа. Более того, ток нестабилен и регулярно колеблется. Давление на входе и выходе незначительно падает, добыча жидкости немного увеличивается или остается неизменной в сегменте в – г. Прежде всего, соотношение газ – жидкость сильно колеблется и увеличивается в сегменте в – г.

Случай 5: Сегмент а – в, как показано на рис. 2, указывает на то, что двигатель работает нормально. Когда газ подвергается

сильному влиянию УЭЦН, в насос поступает много газа, добыча жидкости имеет тенденцию к снижению в сегменте  $b - l$ , добыча газа имеет тенденцию к увеличению колебаний в сегменте  $b - d$ , а газ – коэффициент ликвидности растёт в сегменте  $b - c$ . Когда уровень рабочей жидкости близок к входу всасывания насоса, ток значительно колеблется, и тенденция к снижению неустойчива. Более того, избыточное газосодержание блокируется в насосе, ток быстро падает в сегменте  $m - p$  из-за защиты от недогрузки. В состоянии остановки производственные параметры находятся в нисходящем тренде.

Случай 6: Когда движущаяся поверхность падает, тогда давление масла падает, и УЭЦН работает ненормально. Характеристики параметров очевидны по однофазному току. Существует также значительное колебание в соотношении газ – жидкость. Аналогично, сегмент  $a - b$ , как показано на рис. 2, указывает на то, что УЭЦН работает должным образом. Ток ниже, чем номинальное значение в сегменте  $b - c$  и его устойчивый спуск в соответствии с определенным наклоном. Ток быстро падает в сегменте  $m - p$  из-за отключения защиты от недогрузки. После некоторого времени отключения УЭЦН он снова запускается в сегменте  $b - e$ .

Случай 7: Когда эксплуатационная колонна выходит, жидкость вытекает из трубы под разницей давлений внутри и снаружи трубы. Зависимость между давлением и временем исходной колонны повреждается и нагрузка уменьшается. Аналогично сегмент  $a - b$ , как показано на рис. 2, показывает, что двигатель работает правильно. Производство жидкости ниже номинального значения в сегменте  $b - d$ . В момент условий работы в сегменте  $b - e$ . В сегменте  $b - e$  резко снижается давление масла. Однако однонаправленный ток не изменяется – это условие в сегменте  $a - c$ .

Случай 8: Когда напряжение погружного двигателя превышает его номинальное значение, УЭЦН не находится в нормальном рабочем диапазоне, а насос грузоподъемности поднимается. Аналогично, сегмент  $a - b$ , как показано на рис. 2, указывает, что УЭЦН работает правильно. Мощность двигателя возрастает в сегменте  $b - c$ . Затем в сегментах  $b - m$ , сегменте  $c - f$  и сегменте  $b - h$  растут единичные потоки, производство жидкости и газа. Когда ток достигает установленного тока перегрузки в сегменте  $b - c$ , после некоторой работы УЭЦН име-

ет отключение защиты от перегрузки в сегменте  $m - p$ . Ток, мощность производства жидкости, добыча газа и давление масла падают в сегменте  $f - g$  и сегменте  $h - l$ , сегменте  $d - e$  и сегменте  $o - p$  в процессе  $n - o$  сегмента соответственно. Прежде всего, соотношение газ – жидкость всегда находится в нормальном диапазоне в  $a - p$  – сегменте в течение всего рабочего режима.

Случай 9: Когда напряжение погружного двигателя ниже его номинального значения, УЭЦН не находится в нормальном рабочем диапазоне, насос грузоподъемности снижается. Аналогично, сегмент  $a - b$ , как показано на рис. 2, указывает, что УЭЦН работает правильно. Питание двигателя снижается в сегменте  $b - d$ . Затем текущие добывающие мощности и добыча газа снижаются в сегментах  $b - d$ ,  $b - m$  и  $b - h$  соответственно. Но ток достигает установленного тока недогрузки в сегменте  $d - e$ . Поработав некоторое время, УЭЦН имеет отключение защиты от перегрузки в сегменте  $e - f$ . Ток, производительность жидкости, добыча газа и давление масла падают в сегменте  $f - g$ , сегменте  $h - l$  и сегменте  $d - e$  в процессе сегмента  $f - g$  соответственно. Соотношение газ – жидкость всегда находится в нормальном диапазоне в сегменте  $a - p$  во всем рабочем состоянии.

### Выводы

После дискретной выборки сигнала среднее значение сигнала в нормальном рабочем периоде рассматривается как стандартный сигнал. Нормализуя сигнал и сравнивая данные, полученные при каждой выборке, различается градусное отклонение текущего одноточечного рабочего состояния и нормальное состояние.

В статье предложена схема мониторинга рабочего состояния электроцентробежных насосов на основе электрических и эксплуатационных параметров устья скважины. При этом статус подземной добычи отличался различными параметрами ручного ввода в разных скважинах, что улучшило эффективность распознавания при диагностике неисправностей. В соответствии с фактическими случаями составлены графики параметров девяти типов электроцентробежных насосов. Были точно определены причины неисправностей с помощью анализа принципиальных схем. Алгоритмы, разработанные с функцией извлечения, своевременно устраняли неисправности моделей. Кроме того, было проведено больше экспериментов в электроцентробежных насосах,

а результаты испытаний показали, что алгоритмы достигли требований с помощью практических инженерных применений.

#### Список литературы / References

1. Большунов А.В. Современные методы диагностики фактического состояния установок электроцентробежных насосов // Успехи современного естествознания. 2019. № 12–2. С. 249–253.

Bolshunov A.V. Modern methods for diagnosing the actual state of electric centrifugal pump installations // Advances in current natural sciences. 2019. № 12–2. P. 249–253 (in Russian).

2. Габдрахимов М.С., Фахриева К.Р. Динамические нагрузки скважинного оборудования и виброзащита УЭЦН // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2013. № 5. С. 17–21.

Gabdrakhimov M.S., Fakhrieva K.R. Dynamic loads of downhole equipment and vibration protection of the ESP // Equipment and technologies for the oil and gas complex. 2013. № 5. P. 17–21.

3. Maystrenko A.V., Svetlakov A.A., Gandzha T.V., Dmitriev V.M., Aksenova N.V. Application of numerical signal differentiation methods to determine stationarity of a process. Petroleum and Coal. 2017. V. 59. I. 3. P. 311–318.

4. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965. 524 с.

Gnedenko B.V., Belyaev Yu.K., Soloviev A.D. Mathematical Methods in Theory reliability. M.: Nauka, 1965. 524 p.

5. Dmitriev V.V., Gandzha T.V., Dolganov I.M., Aksenova N.V. An algorithm to improve the speed and accuracy of analysis of chemical process systems operation. Petroleum and Coal. 2017. V. 59. I. 3. P. 429–441.

УДК 504.54

## ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ НАЗЕМНЫХ ЛАНДШАФТОВ: ОТ БАЛЛЬНЫХ ОЦЕНОК К КОМПОЗИТНЫМ ИНДЕКСАМ НА ОСНОВЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ДЕТЕРМИНАНТ

Дмитриев В.В., Огурцов А.Н., Седова С.А., Алексеева А.А.,  
Байжанова К.К., Грига С.А., Кислина А.Е.

ФГБОУ «Санкт-Петербургский государственный университет», Институт наук о Земле,  
Санкт-Петербург, e-mail: v.dmitriev@spbu.ru, vasilij-dmitriev@rambler.ru

Рассматриваются оценочные классификации устойчивости (модели-классификации интегральной оценки устойчивости) для оценки потенциальной устойчивости наземного ландшафта к изменению параметров естественного режима (потенциальная устойчивость) на основе разработанного индекса потенциальной устойчивости ландшафта. На первом этапе вводятся параметры оценивания и классы устойчивости (I – минимальная, II – ниже средней, III – средняя, IV – выше средней, V – максимальная). Для каждого класса задаются левая и правая границы изменения параметров. На втором этапе выполняется нормирование показателей по всем шкалам с учетом вида связи параметра с устойчивостью (прямая, обратная) и степени линейности (нелинейности) связи. На третьем этапе решается проблема выбора весов (приоритетов) оценивания. На четвертом этапе вводится вид интегрального показателя (сумма нормированных значений характеристик, взятых со своим весом). Рассчитывается оценочная шкала интегрального показателя по совокупности всех характеристик. На завершающем этапе рассматривается апробация подхода на примере расчета интегральных показателей потенциальной устойчивости для нескольких разных ландшафтов. Выявляется роль количества исходных параметров и их весомости в расчетах интегральных показателей устойчивости. Выполняется оценка устойчивости для пяти ландшафтов территории России, на примере Новгородской области (Приильменская низменность), Республики Башкортостан, Уфимского плато, Лемболовской возвышенности Ленинградской области, арктических ландшафтов Земли Франца-Иосифа. Арктические ландшафты по величине интегрального показателя устойчивости являются самыми неустойчивыми (II класс, устойчивость ниже средней), остальные ландшафты отнесены к III–IV классам (среднеустойчивые – устойчивость выше средней) с учетом близости к левой, правой границе класса или его середине. Намечены перспективы дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** устойчивость ландшафта, интегральная оценка, интегральный показатель

## INTEGRAL ASSESSMENT OF THE STABILITY OF GROUND LANDSCAPES: FROM SCORE ASSESSMENTS TO COMPOSITE INDICES BASED ON TERRITORIAL DETERMINANTS

Dmitriev V.V., Ogurtsov A.N., Sedova S.A., Alekseeva A.A.,  
Bayzhanova K.K., Griga S.A., Kislina A.E.

St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, St. Petersburg,  
e-mail: v.dmitriev@spbu.ru, vasilij-dmitriev@rambler.ru

We consider the estimated stability classifications (model-classifications of the integrated stability assessment) to assess the potential stability of the terrestrial landscape to changes in the parameters of the natural regime (potential stability) based on the developed landscape potential stability index. At the first stage, assessment parameters and stability classes are introduced (I-minimum, II-below average, III-average, IV-above average, V-maximum). For each class, the left and right boundaries of the parameter change are specified. At the second stage, the indicators are normalized on all scales, taking into account the type of connection of the parameter with stability (direct, inverse) and the degree of linearity (nonlinearity) of the connection. At the third stage, the problem of choosing weights (priorities) for estimation is solved. At the fourth stage, the form of the integral indicator is introduced (the sum of the normalized values of the characteristics taken with their weight). The estimated scale of the integral indicator is calculated based on the totality of all characteristics. At the final stage, the approbation of the approach is considered using the example of calculating the integral indicators of potential stability for several different landscapes. The role of the number of initial parameters and their weight in the calculations of integral stability indicators is revealed. A stability assessment is carried out for 5 landscapes of the territory of Russia, using the example of the Novgorod region (Priilmskaya lowland), the Republic of Bashkortostan, the Ufa Plateau, the Lembolovskaya Upland of the Leningrad Region, and the Arctic landscapes of Franz Josef Land. The Arctic landscapes are the most unstable in terms of the integral stability index (class II, stability is below average), the remaining landscapes are assigned to classes III-IV (medium-stable – stability is above average), taking into account proximity to the left, right border of the class or its middle. The prospects for further research are outlined.

**Keywords:** landscape stability, integrated assessment, integrated indicator

В опубликованных нами ранее работах рассмотрены особенности оценочных исследований эмерджентных свойств геосистем, к числу которых, прежде всего,

относится «устойчивость» [1]. В целом в современных публикациях оценка устойчивости геосистем характеризуется отсутствием: 1 – авторских определений

устойчивости и ее типов (потенциальная устойчивость или устойчивость к изменению параметров естественного режима; устойчивость к воздействию одного типа; устойчивость к воздействию нескольких типов; совместный учет потенциальной устойчивости и устойчивости к воздействию и др.); 2 – обоснования для использования тех или иных методов ее оценки (балльная, балльно-индексная оценка; многокритериальная, интегральная оценка устойчивости и др.); 3 – обоснования возможности и целесообразности одновременного учета в разработанных подходах нескольких основных типов устойчивости (потенциальная, адаптационная, регенерационная) и их комбинаций или последовательных сочетаний; 4 – возможности аддитивного учета типов устойчивости, состояния геосистем и правомерности таких подходов. В последних публикациях обсуждаются сопутствующие акценты, например в одном из обширных зарубежных обобщений, посвященных обзору имеющейся литературы (более 1500 исследований) по индексам, разработанным для оценки «территориальных детерминант» с точки зрения охраны окружающей среды, авторами выявлены 23 пространственно-распределенных композитных индекса, в основу которых заложена информация о 329 переменных [2]. Это разнообразие характеризует, с точки зрения авторов, отсутствие «общей основы» и «может привести к сильной субъективности и ограничению возможности сопоставления различных оценочных результатов» [2].

Цель исследования: разработка оценочной классификации потенциальной устойчивости геосистем и ее апробация на примере нескольких ключевых ландшафтов Российской Федерации. При разработке подхода к интегральной оценке потенциальной устойчивости исследуются: количество параметров оценивания (территориальных детерминант) и задание их весомости при расчете интегрального показателя устойчивости.

#### **Материалы и методы исследования**

С нашей точки зрения, в «общую основу» и перечень этапов исследования, в числе прочих, необходимо всегда включать цель исследования (начальный этап) и проверку адекватности модельных представлений, отражающих исследуемое эмерджентное свойство (завершающий этап) или состояние (статус) самой системы.

Рассмотрим специфику объектов современных ландшафтно-экологических исследований. Для количественной оценки и моделирования ландшафтной структуры и ее влияния на виды и сообщества в зарубежных публикациях обсуждаются два фундаментальных подхода: так называемые «патч-ориентированные модели» (от англ. «*patch*», буквально – «заплата») и «градиентные модели» [4]. Модели на основе патчей рассматривают ландшафт как набор участков среды обитания, представляющих собой экологически однородные субъединицы ландшафта. В итоге структура ландшафта складывается из состава, конфигурации и взаимосвязей участков с различными размерами и качествами [4, 5]. В отличие от этого, «градиентные модели» представляют собой ландшафтную структуру, основанную на непрерывных растровых или сеточных данных, без априорного выделения участков или субъединиц. Здесь ячейки сетки или пиксели являются наименьшими однородными и дискретными пространственными единицами, позволяющими осуществлять квазипрерывное изменение характеристик по всему ландшафту [4, 6, 7]. Используя первый подход, мы акцентируем необходимость доказательства адекватности результатов (верификации) оценочных исследований устойчивости, полученных на основе балльного, балльно-индексного подхода или моделей-классификаций, разработанных для интегральной оценки устойчивости, и невозможность прямого измерения интегративного свойства геосистем (устойчивость), характеризующего их способность сохранять свои свойства и параметры режимов при внешних воздействиях или внутренних трансформациях.

Сказанное выше приводит к отказу многих авторов от использования терминов «модель» и «моделирование» в оценке эмерджентных свойств геосистем: устойчивость, уязвимость, благополучие, напряженность, экологический статус (или потенциал), «здоровье эко- или геосистемы» и др., поскольку в природе эти свойства в принципе нельзя измерить. В этом случае авторы употребляют термины «оценочная классификация», «обучающая классификация» и развивают методы косвенного подтверждения результатов оценки состояния системы или ее сложного свойства на основе балльных оценок. Здесь, на наш взгляд, следует отметить, что непременным условием проверки адекватности модели «оригиналу» является выдвижение ряда гипотез, которые могут быть проверены по имеющимся натурным данным и ре-

зультатам расчетов, или исходя из логики событий. Чем больше гипотез оправдывается или подтверждается, тем большего доверия заслуживает модель. Поэтому отсутствие разработки и доказательства таких гипотез является «слабым звеном» многих публикаций по данной проблеме. Авторы просто обходят стороной данный этап работы. При этом, как правило, не обсуждается системообразующий тип геосистемы, например, для водной геосистемы: 1 – циклический тип, 2 – транзитный, 3 – каскадный. Проверка нами ряда гипотез показала, что логично оценивать адаптационную устойчивость для водных эко- и геосистем 1 типа, регенерационную – для 2 или для 2 и 3 типов систем. В некоторых случаях можно обосновать последовательное изменение типов внутри года (ряда лет), если система меняет свой тип в результате естественных или антропогенных трансформаций.

В ландшафтных исследованиях, как правило, одновременно присутствуют все типы геосистем. Это позволяет сформировать патчи всех типов для оценки устойчивости ландшафта и использовать их одновременно. Присутствие того или другого типа патчей в ландшафте можно учитывать по занимаемой ими площади или через весовые множители, приписываемые тем или иным характеристикам. Развитие этой идеи на практике пока не происходит, хотя в оценочных классификациях устойчивости у авторов, как правило, присутствуют одновременно параметры и шкалы первого и второго типов, часто одни и те же для разных типов геосистем [3, 8, 11].

Следующая особенность оценочных исследований, отмеченная нами, состоит в медленном развитии индексологии устойчивости и других сложных свойств. В иностранных и последних российских публикациях речь идет, чаще всего, о так называемых «композитных индексах» [2]. Выявлено: отсутствие общей методологической структуры построения индексов, необходимость развития методов отбора переменных для конкретных целей, так называемая «рамочная основа» для индексов; необходимость повышения методологической прозрачности (открытости, доступности) для улучшения межтерриториального сопоставления результатов [2]. Редко авторами предлагаются «композитные индексы», для которых в процессе исследования были разработаны оценочные шкалы. Но даже если такие шкалы существуют, то они часто заменяются авторами балльными шкалами, что снижает их

ценность как основы «экологической квалиметрии» или «экологической аксиометрии». Возможно поэтому, хотя разработка составных индексов привлекает все большее внимание ученых и государственных органов, эта концепция по-прежнему не обладает способностью к транспонированию и устойчивостью, в том числе из-за различных концепций и/или методологий [2]. В итоге, авторы приходят к выводу о том, что «не существует признанного стандарта или международного признанного правила для определения количества и типа переменных, которые должны быть включены в количественную оценку состояния окружающей среды» и что «до настоящего времени ни в одном исследовании не рассматривался вопрос о возможном включении данных в качестве носителя информации для использования в составных индексах состояния окружающей среды» [9].

Рассмотрим основные этапы построения классификаций или моделей-классификаций устойчивости [1, 3]. Такие модели характеризуют способность сложной системы сохранять свои свойства (морфометрию и рельеф, климатические особенности, водный режим, его специфику и сезонные эффекты) и параметры режимов в результате естественных изменений и/или антропогенных воздействий и трансформаций. Вид представления знаний о свойствах и параметрах естественного и антропогенного режимов – классификация состояния и/или классификация устойчивости. Такая классификация формируется с учетом цели исследования, сформулированной на первом этапе работы.

После выявления типа устойчивости и его представления в модели-классификации, механизмов формирования, отбора необходимых и достаточных критериев оценивания необходимо ввести классы и сформировать оценочные шкалы для всех критериев. Например, в [1] нами для оценки потенциальной устойчивости ландшафта в эколого-географическом зонировании территории были рекомендованы: 1 – радиационный баланс,  $\text{ккал}/\text{см}^2 \text{ год}$ . Большим его значениям соответствует максимальная устойчивость ландшафта; 2 – радиационный индекс сухости (К) – отношение между радиационным балансом территории и годовой суммой осадков, выраженное в калориях скрытой теплоты испарения.  $K = 1,00$  соответствует условиям максимальной устойчивости ландшафта; 3 – ветровой режим: а) количество дней со штормами в году (баллы). Чем больше дней со штормами, тем выше адаптационная

устойчивость; 4 – ветровой режим: б) количество дней с сильными ветрами (баллы). Чем больше дней с сильными ветрами, тем ниже адаптационная устойчивость (и выше регенерационная устойчивость); 5 – интенсивность геоматических процессов (ИГП) характеризуется аддитивным учетом неотектонической активности, сейсмичности, типа рельефа, свойств пород. Максимальной величине ИГП соответствует максимальная устойчивость ландшафтов; 6 – устойчивость составных частей ландшафта (урочища разделены на активные, пассивные и детерминанты). Максимальная устойчивость закреплена за пассивными урочищами, минимальная за Н-Н детерминантами; 7 – контрастность урочищ в ландшафте (чем выше контрастность, тем выше устойчивость или необходимо обосновать другие подходы); 8 – защищенность грунтовых вод. Грунтовые воды (ГВ) в ландшафте считаются защищенными (максимальная устойчивость) при наличии слабопроницаемого, мощного слоя пород и глубоко залегающих ГВ. ГВ в ландшафте не защищены при наличии трещиноватых пород и карстовых ландшафтов (минимальная устойчивость), особенно, при достаточно близком залегании ГВ; 9 – индекс биологической эффективности климата (ТК) – интегральный критерий тепло- и влагообеспеченности, от которого зависит устойчивость ландшафта. Высокие значения индекса ТК характерны для устойчивых ландшафтов, а низкие – для неустойчивых. Первые 8 характеристик использовались нами в оценочной классификации устойчивости «ОКУ» в [3]. Перечисленные 9 критериев составляли основу оценочной классификации устойчивости «ОКУ1» в [1]. Отметим небольшую разницу в оценочных шкалах «ОКУ» в работах [1] и [3], обусловленную ошибками округления.

В настоящей версии оценочной классификации устойчивости «ОКУ2» учтем

дополнительно еще два критерия. Это: 10 – индекс интенсивности биологического круговорота (ИБК) – величина отношения массы подстилки к той части опада, которая ее формирует. ИБК для заболоченных лесов >50, для кустарничковой тундры 20–50, для темнохвойных лесов, для 10–17, для широколиственных лесов 3–4, саванны не более 0,2, влажные тропические леса не более 0,1 [10]. Учтем также: 11 – устойчивость почв к эрозионному смыву (эрозионный смыв в т/га в год). Под устойчивостью ландшафтов к смыву почв дождевыми осадками понимается их способность противостоять процессам смыва. Чем меньше смыв почвы, тем устойчивее ландшафт. Шкала эрозионного смыва (т/га в год): 8 – 6 – минимальная устойчивость (I класс), 6 – 4 – устойчивость ниже средней (II класс), 4 – 2 – средняя устойчивость (III класс), 2 – 1 – выше средней (IV класс), 1 – 0 – максимальная устойчивость [11].

Внешний вид модели-классификации интегральной оценки устойчивости, построенной нами на основе выбранных 11 критериев, приведен в табл. 1. Там же содержатся разработанные нами оценочные шкалы интегральных показателей устойчивости для «ОКУ1» и «ОКУ2» в предположении равенства весов (приоритетов) оценивания. Подсветкой в таблице выделены дополнительные параметры, учитываемые в «ОКУ2».

Для нормирования исходных параметров использовались функции «мини-макса», традиционно применяемые нами в построении интегральных показателей [12].

В расчетах использованы нормирующие функции 1 и 2, отражающие на данном этапе линейный характер изменения характеристик по классам устойчивости ( $l = 1, 0$ ). В (1) и (2)  $q_i$  – нормированное значение текущих показателей  $x_i$ . В качестве  $\min_i$  и  $\max_i$  использовались минимальное и максимальное значения характеристик в оценочных шкалах.

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 0, & \text{при } x_i \leq \min_i, \\ \left( \frac{x_i - \min_i}{\max_i - \min_i} \right)^l, & \text{при } (\min_i < x_i \leq \max_i), \\ 1, & \text{при } x_i > \max_i, \end{cases} \quad (1)$$

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 1, & \text{при } x_i \leq \min_i, \\ \left( \frac{\max_i - x_i}{\max_i - \min_i} \right)^l, & \text{при } (\min_i < x_i \leq \max_i), \\ 0, & \text{при } x_i > \max_i. \end{cases} \quad (2)$$

Таблица 1

Модель-классификация оценки устойчивости ландшафта

Признак / класс устойчивости	I Минимальная устойчивость	II Устойчивость ниже средней	III Средняя устойчивость	IV Устойчивость выше средней	V Максимальная устойчивость.
1. Радиационный баланс, ккал/см <sup>2</sup> год	-5 - +10 0-0,18	11-20 0,18-0,29	20-30 0,29-0,41	30-50 0,41-0,65	50-80 0,65-1,00
2. Радиационный индекс сухости	5-4 0-0,20	4-3 0,20-0,44	3-2 0,44-0,68	2-1 0,68-0,88	1-0,45 0,88-1,00
3. Ветровой режим: а) количество дней со штормами в году (баллы)	0-1 0-0,20	1-2 0,20-0,40	2-3 0,40-0,60	3-4 0,60-0,80	4-5 0,80-1,00
4. Ветровой режим: б) количество дней с сильными ветрами (баллы)	5-4 0-0,20	4-3 0,20-0,40	3-2 0,40-0,60	2-1 0,60-0,80	1-0 0,80-1,00
5. Интенсивность геоматических процессов, баллы	0-4 0-0,20	4-8 0,20-0,40	8-12 0,40-0,60	12-16 0,60-0,80	16-20 0,80-1,00
6. Устойчивость составных частей ландшафта, баллы	0-1 0-0,20	1-2 0,20-0,40	2-3 0,40-0,60	3-4 0,60-0,80	4-5 0,80-1,00
7. Контрастность урочищ в ландшафте, баллы	0-1 0-0,20	1-2 0,20-0,40	2-3 0,40-0,60	3-4 0,60-0,80	4-5 0,80-1,00
8. Защищенность грунтовых вод, баллы	0-1 0-0,20	1-2 0,20-0,40	2-3 0,40-0,60	3-4 0,60-0,80	4-5 0,80-1,00
9. Индекс биологической эффективности климата (индекс ТК)	0-4 0-0,20	4-8 0,20-0,40	8-12 0,40-0,60	12-16 0,60-0,80	16-20 0,80-1,00
10. Индекс интенсивности биологического круговорота	0-0,1 0-0,002	0,1-0,2 0,002-0,004	3-4 0,060-0,080	10-17 0,200-0,340	20-50 0,400-1
11. Эрозионный смылв почв (т/га в год)	8-6 0-0,250	6-4 0,250-0,500	4-2 0,500-0,750	2-1 0,750-0,875	1-0 0,850-1
<b>Интегральный показатель устойчивости ландшафта (ИПУЛ) для оценочной классификации «ОКУ1» (9 параметров)</b>	<b>0-0,198</b>	<b>0,198-0,392</b>	<b>0,392-0,588</b>	<b>0,588-0,793</b>	<b>0,793-1,00</b>
<b>Интегральный показатель устойчивости ландшафта (ИПУЛ) для оценочной классификации «ОКУ2» (11 параметров)</b>	<b>0-0,185</b>	<b>0,185-0,367</b>	<b>0,372-0,556</b>	<b>0,567-0,759</b>	<b>0,762-1,00</b>

Примечание. В числителе – значения параметра для левой и правой границ класса; в знаменателе – то же для нормированных значений показателей. Подчеркнутой выделены дополнительно оценочные критерии.

В последних строках табл. 1 приведены рассчитанные значения интегрального показателя устойчивости (ИПУЛ) по классам для «ОКУ1» и «ОКУ2». Правила построения оценочных шкал интегральных показателей опубликованы нами в большом количестве работ [1, 3 и др.]. Для расчетов использовались: метод сводных показателей (МСП); метод рандомизированных сводных показателей (МРСП); АСПИД-методология [12]. Реализация этапов проводилась либо для нескольких уровней свертки информации, либо, как в табл. 1, все параметры оценки сводились в единую исходную модель-классификацию. Наш опыт показывает, что для оценки экологического статуса (потенциала) геосистемы целесообразно ввести три группы параметров: 1 – группа, отражающая продукционный потенциал геосистемы (ландшафта); 2 – группа, отражающая качество и токсическое загрязнение сред (воздух, вода, почва); 3 – группа, отражающая потенциальную устойчивость геосистемы (ландшафта). В этом случае построение интегрального показателя экологического статуса (потенциала) геосистемы реализуется на основе 2–3-х-уровневой свертки показателей. При этом необходимо решать вопрос о приоритетах оценивания, как внутри групп, так и между ними. Отметим, что в данной работе, как и в большинстве публикаций, рассмотрено «линейное агрегирование» принятых для оценки характеристик и отсутствует обоснование «умных приоритетов» (весов) для свертки показателей [13]. Последняя проблема рассматривается подробно в других наших работах [3, 14 и др.].

В качестве  $d$ -функции для построения интегрального показателя устойчивости нами использовалась линейная свертка нормированных значений вида

$$Q = Q(q; w) = Q(q_1, \dots, q_m; w_1, \dots, w_m) = \sum_{i=1}^m q_i w_i, \quad (3)$$

представляющая собой сумму взвешенных значений показателей  $q_i$  (результат нормирования  $i$ -й характеристики), определяемую весовыми коэффициентами  $w = (w_1, \dots, w_m)$  отдельных критериев для интегральной оценки устойчивости. Введение условия  $w_1 + \dots + w_m = 1$  позволяет оценивать  $w_i$  как относительную значимость нормированного показателя  $q_i$ .

#### Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1 представлены исходные шкалы и нормированные значения параметров

этих шкал по классам устойчивости и шкалы интегрального показателя устойчивости ландшафта (ИПУЛ) к изменению параметров естественного режима (потенциальная устойчивость) для «ОКУ1» и «ОКУ2». Данные модели-классификации построены в предположении равенства весов (приоритетов) между признаками ( $w_i = 1/9$  для «ОКУ1» и  $w_i = 1/11$  для «ОКУ2»). Максимальной устойчивости поставлено в соответствие значение  $q_i = 1$ , а минимальной –  $q_i = 0$ . При формировании шкал и нормировании показателей учтен вид связи выбранного параметра с исследуемым свойством ландшафта.

На первом этапе был рассмотрен ряд гипотетических ситуаций (сценариев) для условно заданных типов ландшафтов. Сценарии могут отражать минимально возможные для некоторой территории и максимально возможные значения характеристик или интервалы их изменения. По ним исследователь определяет, в каких пределах может изменяться интегральный показатель устойчивости для различных (характерных) типов ландшафтов или временных интервалов. Для этого можно использовать комбинации различных значений параметров, отражающих естественноисторическую фазу развития геосистем, а также средние, фоновые, экстремальные и т.п. значения параметров.

Рассмотрим примеры использования «ОКУ2» и сравним полученные результаты с результатами по «ОКУ1» для ландшафтов, перечень которых приведен в табл. 2. В табл. 3 заданы значения 11 территориальных детерминант для «ОКУ2» по ландшафтам.

Пример 1. Расчет интегрального показателя устойчивости ландшафта (ИПУЛ) выполнялся для таежных ландшафтов Новгородской области (Приильменская низменность). Полученное на основе «ОКУ2» значение ИПУЛ равно 0,605, позволяет отнести данные ландшафты к IV классу устойчивости (устойчивость выше средней) при ширине интервала класса 0,545–0,747 (табл. 3). Расчеты показали, что изъятие (или добавление) двух параметров (10 и 11) незначительно сказалось на итоговом результате. В «ОКУ1» было получено ИПУЛ = 0,673, что позволило отнести ландшафт к середине IV класса при ширине интервала оценочной шкалы ИПУЛ 0,588–0,793. Сравнить между собой абсолютные значения ИПУЛ для «ОКУ1» и «ОКУ2» нельзя, поскольку

значения левой и правой границ классов у них разные. Поэтому сравним значения  $ИПУЛ_9 / (\max_9 - \min_9)$  и  $ИПУЛ_{11} / (\max_{11} - \min_{11})$ . В качестве минимального и максимального значений использовались

соответствующие граничные значения характеристик для IV класса в «ОКУ1» и «ОКУ2». В этом случае получаем, что разница в полученных результатах составила 4,2%.

Таблица 2

Перечень ключевых ландшафтов, выбранных для оценки потенциальной устойчивости по «ОКУ2»

№ п/п	Название и особенности ландшафтов
1	Таежные ландшафты Новгородской области (Приильменная низменность)
2	Пологоволнистые междуречные равнины, покатые и пологие склоны долин, сложенные песчаниками, мергелями, конгломератами, известняками уфимского яруса с широколиственными лесами на серых и тёмно-серых лесных почвах Бирского, Мишкинского и Благовещенского районов Республики Башкортостан
3	Ландшафты хвойно-широколиственных лесов Уфимского плато
4	Равнинно-моренный ландшафт Лемболовской возвышенности Ленинградской области
5	Арктические ландшафты Земли Франца-Иосифа

Таблица 3

Примеры интегральной оценки устойчивости ландшафтов

Признак / ландшафт	Ландшафт 1	Ландшафт 2	Ландшафт 3	Ландшафт 4	Ландшафт 5
1. Радиационный баланс, ккал/см <sup>2</sup> год	$\frac{30}{0,412}$	$\frac{37}{0,495}$	$\frac{37}{0,495}$	$\frac{25}{0,353}$	$\frac{2}{0,082}$
2. Радиационный индекс сухости	$\frac{0,05}{1}$	$\frac{1-1,15}{0,825}$	$\frac{0,85-1}{0,895}$	$\frac{0,5}{0,989}$	$\frac{0,5}{0,989}$
3. Ветровой режим: а) количество дней со штормами в году (баллы)	$\frac{5}{1}$	$\frac{4}{0,80}$	$\frac{4}{0,80}$	$\frac{5}{1}$	$\frac{3}{0,60}$
4. Ветровой режим: б) количество дней с сильными ветрами (баллы)	$\frac{3}{0,40}$	$\frac{2}{0,60}$	$\frac{1}{0,80}$	$\frac{1}{0,80}$	$\frac{2}{0,60}$
5. Интенсивность геоматических процессов, баллы	$\frac{15}{0,75}$	$\frac{9}{0,45}$	$\frac{11}{0,55}$	$\frac{7}{0,35}$	$\frac{8}{0,40}$
6. Устойчивость составных частей ландшафта, баллы	$\frac{3}{0,60}$	$\frac{1}{0,20}$	$\frac{4}{0,8}$	$\frac{3}{0,60}$	$\frac{1}{0,20}$
7. Контрастность урочищ в ландшафте, баллы	$\frac{3}{0,60}$	$\frac{1}{0,20}$	$\frac{4}{0,8}$	$\frac{3}{0,60}$	$\frac{1}{0,20}$
8. Защищенность грунтовых вод, баллы	$\frac{3}{0,60}$	$\frac{3}{0,60}$	$\frac{1}{0,20}$	$\frac{3}{0,60}$	$\frac{1}{0,20}$
9. Индекс биологической эффективности климата (индекс ТК)	$\frac{14}{0,70}$	$\frac{14}{0,70}$	$\frac{15}{0,75}$	$\frac{12}{0,60}$	$\frac{1,5}{0,075}$
10. Индекс интенсивности биологического круговорота	$\frac{11}{0,22}$	$\frac{3-4}{0,065}$	$\frac{7-8}{0,15}$	$\frac{13}{0,06}$	$\frac{0,08}{0,002}$
11. Эрозионный смыв почв (т/га в год)	$\frac{3}{0,375}$	$\frac{7}{0,125}$	$\frac{5}{0,375}$	$\frac{3}{0,375}$	$\frac{7}{0,125}$
<b>Интегральный показатель устойчивости ландшафта (ИПУЛ) для оценочной классификации «ОКУ1» (9 параметров)</b>	<b>0,673 (IVc) границы класса 0,588–0,793</b>	<b>0,541 (IIIп) границы класса 0,392–0,588</b>	<b>0,677 (IVc) границы класса 0,588–0,793</b>	<b>0,655 (IVл) границы класса 0,588–0,793</b>	<b>0,372 (IIIп) границы класса 0,198–0,392</b>
<b>Интегральный показатель устойчивости ландшафта (ИПУЛ) для оценочной классификации «ОКУ2» (11 параметров)</b>	<b>0,605 (IVл) границы класса 0,567–0,759</b>	<b>0,460 (IIIп) границы класса 0,372–0,556</b>	<b>0,601 (IVл) границы класса 0,567–0,759</b>	<b>0,575 (IVл) границы класса 0,567–0,759</b>	<b>0,316 (IIIп) границы класса 0,185–0,367</b>

Примечание. В числителе – рекогносцировочное значение признака, в знаменателе – нормированное значение. В двух последних строках – результат свертки (ИПУ) с указанием близости к левой (л), правой (п) границам или к середине класса (с) и класс устойчивости с указанием границ класса. Подсветкой выделены дополнительно учтенные критерии.

Пример 2. Расчет интегрального показателя устойчивости ландшафта (ИПУЛ) выполнялся для пологоволнистых между-речных равнин, покатых и пологих склонов долин, сложенных песчаниками, мергелями, конгломератами, известняками уфимского яруса с широколиственными лесами на серых и тёмно-серых лесных почвах Бирского, Мишкинского и Благовещенского районов Республики Башкортостан. Полученное на основе «ОКУ2» значение ИПУЛ равно 0,460, позволяет отнести данные ландшафты к III классу устойчивости при ширине интервала класса 0,372–0,556 (табл. 3). Сравнение с значением ИПУЛ = 0,541 для «ОКУ1», III при ширине интервала оценочной шкалы ИПУЛ 0,392–0,588 показало, что разница в полученных результатах составила 10,4%. Как и в первом примере, получаем, что ИПУЛ<sub>0</sub> и ИПУЛ<sub>11</sub> попадают в один класс, но ИПУЛ<sub>0</sub> дает несколько более высокую устойчивость ландшафта внутри классов (на величину указанных %).

Пример 3. Расчет интегрального показателя устойчивости ландшафта (ИПУЛ) выполнялся для ландшафтов хвойно-широколиственных лесов Уфимского плато. Для «ОКУ1» получено: 0,677 (IVс), границы класса 0,588–0,793. Для «ОКУ2» получено: 0,601 (IVл), границы класса 0,567–0,759. По расчету на основе «ОКУ2» выявлен сдвиг в сторону снижения устойчивости примерно на 5,5% по сравнению с «ОКУ1».

Пример 4. Расчет интегрального показателя устойчивости ландшафта (ИПУЛ) выполнялся для равнинно-моренных ландшафтов Лемболовской возвышенности Ленинградской области. Для «ОКУ1» получено: 0,655 (IVл), границы класса 0,588–0,793. Для «ОКУ2» получено: 0,575 (IVл), границы класса 0,567–0,759. По расчету на основе «ОКУ2» выявлен сдвиг в сторону снижения устойчивости примерно на 6,7% по сравнению с «ОКУ1».

Пример 5. Расчет интегрального показателя устойчивости ландшафта (ИПУЛ) выполнялся для арктических ландшафтов Земли Франца-Иосифа. Для «ОКУ1» получено: 0,372 (III), устойчивость ниже средней, границы класса 0,198–0,392. Для «ОКУ2» получено: 0,316 (III), границы класса 0,185–0,367. По расчету на основе «ОКУ2» выявлен сдвиг в сторону снижения устойчивости примерно на 10,5% по сравнению с «ОКУ1».

В целом во всех случаях, при количестве исходных территориальных детерми-

нант близких к 10, выявлено, что ИПУЛ на основе «ОКУ2» давал, в зависимости от ландшафта, сдвиг в сторону меньшей устойчивости для II–IV классов в пределах 4,2–10,4%. На примере арктических ландшафтов Земли Франца-Иосифа показано, что их потенциальная устойчивость низкая (II класс, ниже средней). Ранее выполненное нами исследование [1] показало также, что добавление в «ОКУ» или изъятие из нее одного параметра (индекс ТК) при равновесном их учете практически не сказалось на итоговом результате. Например, изъятие из «ОКУ1» индекса ТК дало характерное значение ИПУЛ, равное 0,531 (III), что определило разницу с рассмотренным в «ОКУ1» результатом в пределах 5% при ширине интервала оценочной шкалы ИПУЛ, построенной для 8 параметров, для III класса 0,391–0,586. Выявлено также, что, приращение в 2 раза большего веса одному параметру по сравнению с другими (на примере ТК) по расчетам на основе «ОКУ1», дало значение ИПУЛ, равное 0,630, что свидетельствовало о приближении ИПУЛ вплотную к граничному значению между III и IV классами (0,654 – правая граница III класса для оценочной шкалы с учетом неравновесности задания приоритетов).

### Заключение

Следующими шагами в работе с моделями-классификациями устойчивости будет сбор и уточнение исходных данных для патч-ориентированных моделей интегральной оценки устойчивости ландшафтов в среде ГИС с учетом неравновесного задания приоритетов (весов) для территориальных детерминант на основе ASPID-методологии учета неполной, неточной и нечисловой информации в оценочных исследованиях.

Для учета устойчивости к изменению параметров антропогенного режима будут выявлены возможные типы воздействия, критерии оценивания, решена проблема совместного учета потенциальной устойчивости ландшафтов и их устойчивости к антропогенному воздействию.

*Исследования выполнялись при поддержке грантов РФФИ № 18-05-60291 и № 19-05-00683 а.*

### Список литературы / References

1. Дмитриев В.В., Огурцов А.Н., Морозова А.С., Пилюгина А.А., Свердлов О.А., Сиротина П.М., Федорова М.Е., Черепанов С.В., Шакуров В.А. Интегральная оценка устойчивости ландшафтов: модели, результаты, перспективы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 9. С. 110–114.

- Dmitriev V.V., Ogurtsov A.N., Morozova A.S., Pilyugina A.A., Sverdlova O.A., Sirotina P.M., Fedorova M.E., Cherepanov S.V., Shakurov V.A. Integral assessment of landscape stability: models, results, prospects // *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2017. № 9. P. 110–114 (in Russian).
2. Delphine Brousmichea, Florent Occellia, Michaël Geninb, Damien Cunya, Annabelle Derama, Caroline Lanier Spatialized composite indices to evaluate environmental health inequalities: Meeting the challenge of selecting relevant variables. *Ecological Indicators*. 111 (2020) 106023. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.106023.
3. Дмитриев В.В., Огурцов А.Н. Подходы к оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. III. Интегральная оценка устойчивости почвы и наземных геосистем // *Вестник СПбГУ*. 2014. Серия 7. Геология. География. № 4. С. 114–130.
- Dmitriev V.V., Ogurtsov A.N. Approaches to the assessment and GIS mapping of the sustainability and environmental well-being of geosystems. III. Integral assessment of soil stability and terrestrial geosystems // *Vestnik SPbGU*. 2014. Seriya 7. Geologiya. Geografiya. № 4. P. 114–130 (in Russian).
4. Lausch A., Blaschke T., Haase D., Herzog F., Syrbe R.-U., Tischendorf L., et al. Understanding and quantifying landscape structure – A review on relevant process characteristics, data models and landscape metrics *Ecological Modelling*. Vol. 295. 10 January 2015. P. 31–41. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2014.08.018.
5. Turner M.G. Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annu Rev Ecol Syst*. 1989. Vol. 20. P. 171–197.
6. McGarigal K., Tagil S., Cushman S.A. Surface metric: an alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure. *Landsc Ecol*. 2009. Vol. 24. P. 433–450.
7. Erős, T., Lowe W.H. The Landscape Ecology of Rivers: from Patch-Based to Spatial Network Analyses. *Curr Landscape Ecol Rep* 4. 2019. P. 103–112. DOI: 10.1007/s40823-019-00044-6.
8. Снакин В.В., Алябина И.О., Кречетов П.П. Экологическая оценка устойчивости почв к антропогенному воздействию // *Известия РАН. Серия географическая*. 1995. № 5. С. 50–57.
- Snakin V.V., Alyabin I.O., Krechetov P.P. Ecological assessment of soil resistance to anthropogenic effects // *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*. 1995. № 5. P. 50–57 (in Russian).
9. He, Y.X., Jiao, Z., Yang, J. Comprehensive evaluation of global clean energy development index based on the improved entropy method. *Ecol. Indic.* 2018. Vol. 88. P. 305–321. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.12.013.
10. Степановских А.С. Общая экология. Учебник для вузов. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. 420 с.
- Stepanovsky A.S. General ecology. Textbook for high schools. М.: UNITY-DANA, 2000. 420 p. (in Russian).
11. Осипов А.Г. Интегральная оценка устойчивости ландшафтов при создании сельскохозяйственных угодий природно-аграрных систем // *Вестник СПбГУ. Серия 7. Геология. География*. 2016. № 3. С. 150–162. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2016.312.
- Osipov A.G. Integral assessment of landscape stability when creating agricultural land of natural-agrarian systems // *Vestnik SPbGU. Seriya 7. Geologiya. Geografiya*. 2016. № 3. P. 150–162 (in Russian).
12. Hovanov N., Hovanov K., Yudaeva M. Multicriteria estimation of probabilities on basis of expert nonnumeric, non-exact and non-complete knowledge. *European Journal of Operational Research*. 2009. V. 195 (3). P. 857–863.
13. Шмелева И.А., Шмелев С.Э. Глобальные города: многокритериальная оценка устойчивого развития // *Биосфера*. 2019. Т. 11. № 1. С. 1–18. DOI: 10.24855/biosfera.v11i1.470.
- Shmeleva I.A., Shmelev S.E. Global cities: a multi-criteria assessment of sustainable development // *Biosphere*. 2019. V. 11. № 1. P. 1–18 (in Russian).
14. Огурцов А.Н., Дмитриев В.В. Интегральная оценка и геоинформационный анализ социальных детерминант здоровья населения Крайнего севера Европейской части Российской Федерации // *ИнтерКарто. ИнтерГИС*. 2019. Т. 25. № 1. С. 23–34. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-23-34.
- Ogurtsov A.N., Dmitriev V.V. Integrated Assessment and Geoinformational Analysis of Social Determinants of Population Health of the Extreme North of the European Part of the Russian Federation // *InterCarto. InterGIS* 2019. V. 25. № 1. P. 23–34 (in Russian).

УДК 556.5:628.345

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СОЧЕТАНИЯ РЕАГЕНТОВ  
ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД АККУМУЛЯТОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА****Качалова Г.С.***ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет**(учебное подразделение Строительный институт)», Тюмень, e-mail: galinakachalova@mail.ru*

Исследования проводили с использованием искусственно созданных сточных вод, по составу и свойствам повторяющих сточные воды АО «Тюменский аккумуляторный завод». Цель – сравнительная оценка эффективности действия различных типов флокулянтов в сочетании с определённым коагулянтом на процесс очистки сточных вод, проведение процесса сорбционной доочистки до и после коагуляции с последующим определением остаточного содержания свинца. Используемые флокулянты марки Flopam: Flopam 4125 SH, 4440 SH, флокулянты марки Praestol: Praestol 2531 TR, 650 TR, флокулянт жидкое стекло  $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Используемые коагулянты:  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , смесь коагулянтов  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (1:1), (2:1), акватикс. В ходе работы были приготовлены модельные сточные воды АО «Тюменский аккумуляторный завод» и выбраны наиболее эффективные сочетания коагулянт – флокулянт для извлечения взвешенных, коллоидных частиц и ионов свинца из сточных вод. Для всех реагентов определены оптимальные дозы. Использован метод динамической сорбции на сорбенте КФГМ-7 для дополнительной очистки сточных вод от ионов свинца. Наибольший эффект получен при коагулировании с использованием  $\text{FeSO}_4$  в качестве коагулянта с оптимальной дозой 150 мг/л при добавлении флокулянта марки Flopam 4125 (2 мг/л). Мутность вод составила 4–5 ЕМФ. При проведении динамической сорбции концентрация ионов свинца при использовании в качестве флокулянта  $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (жидкое стекло) с коагулянтом  $\text{FeSO}_4$  составила 0,01 мг/л, что значительно меньше максимально-допустимых концентраций свинца в сточных водах, поступающих на сброс. Результаты исследования могут быть использованы в технологии обработки используемых вод аккумуляторного производства.

**Ключевые слова:** модельные сточные воды, коагулянты, флокулянты, дозы реагентов, мутность, содержание свинца, сорбент, доочистка

**SELECTION OF OPTIMAL COMBINATION OF REAGENTS FOR TREATMENT  
OF WASTE WATER OF ACCUMULATOR PRODUCTION****Kachalova G.S.***Department of General and Special Chemistry, the Industrial University, Tyumen,**e-mail: galinakachalova@mail.ru*

Studies were carried out using artificially created waste water, on the composition and properties of JSC «Tyumen Battery Plant» repeating waste water. The aim is a comparative evaluation of effectiveness of action of different types of flocculants in combination with a certain coagulant on the process of waste water treatment, carrying out the process of sorption post-treatment before and after coagulation with subsequent determination of residual content of lead. The used Flopam brand flocculants: Flopam 4125 SH, 4440 SH, Praestol brand flocculants: Praestol 2531 TR, 650 TR, flocculant  $\text{Na}_2\text{O}$  liquid glass  $\cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . The used coagulants:  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , mix of  $\text{FeCl}_3$  and  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (1:1), (2:1) coagulants, aquatic. During the work, model waste water of JSC «Tyumen Battery Plant» was prepared and the most effective combinations of coagulant-flocculant were selected for extraction of suspended, colloidal particles and lead ions from waste water. Optimal doses are determined for all reagents. Method of dynamic sorption on КФГМ-7 sorbent is used for additional treatment of waste water from lead ions. The greatest effect was obtained by coagulation using  $\text{FeSO}_4$  as a coagulant at an optimal dose of 150 mg/L by adding Flopam 4125 (2mg/L). Water turbidity was 4-5 EMF. In dynamic sorption, the concentration of lead ions when  $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (liquid glass) with coagulant  $\text{FeSO}_4$  was used as a flocculant was 0.01mg/l, which is significantly less than the maximum permissible concentrations of lead in the waste water entering the discharge. The results of the study can be used in the technology of processing used water of battery production.

**Keywords:** model wastewater, coagulants, flocculants, reagent doses, turbidity, lead content, sorbent, post-cleaning

Производство аккумуляторных батарей требует большого количества воды, в которую в процессе производства поступают различные загрязнители. На АО «Тюменский аккумуляторный завод» применяется рециркуляция воды, то есть приблизительно 75% отработанных сточных вод подается на очистные сооружения, а после очистки и извлечения ценных компонентов вновь возвращаются в производственный цикл.

Замкнутый цикл производства не только препятствует загрязнению окружающей среды, но и может приносить экономическую выгоду в виде извлечения побочных продуктов и экономии воды [1, 2]. С целью осветления сточных вод на АО «Тюменский аккумуляторный завод» используются методы коагуляции с последующей флокуляцией и сорбционной доочисткой с целью удаления ионов свинца.

Цель исследования – сравнительная оценка эффективности действия различных типов флокулянтов в сочетании с определённым коагулянтом в процессе очистки сточных вод, проведение процесса сорбционной доочистки до и после коагуляции с последующим определением остаточного содержания  $Pb^{2+}$ . Проведенные исследования имеют рекомендательный характер для технологического процесса обработки используемых вод аккумуляторного производства.

#### Материалы и методы исследования

В работе использовались коагулянты:  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ,  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , смесь коагулянтов  $FeCl_3$  и  $Al_2(SO_4)_3$  (1:1), аквавикс (полиоксихлорид алюминия) [3, 4].

Используемые флокулянты – марки Praestol (Праестол) и Flopam (Флопам), а также жидкое стекло  $Na_2O \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O$ . Исследовали следующие флокулянты марки Flopam: Flopam 4115 SH, 4125 SH, 4140 SH, 4440 SH, флокулянты марки Praestol: Praestol 2531 TR, 650 TR.

Флокулянт Praestol – продукция совместного российско-германского производства ЗАО «Компания «Москва – Штокхаузен – Пермь» (MSP). Флокулянты Praestol появились на международном рынке в 1998 г., используются во многих областях промышленности [5]. Это водорастворимый полимер на основе полиакриламида, относится к неионогенным флокулянтам. Анионные марки флокулянтов Praestol являются сополимерами акриламида с сомономерами акрилата, которые придают полимерам в водном растворе отрицательный заряд т.е. анионноактивный характер. Катионные флокулянты Praestol – сополимеры акриламида с катионными сомономерами, обладающим положительными зарядами. Флокулянты Praestol обладают сильным сродством к поверхностям коллоидов и мелкодисперсных частиц в сложных дисперсных системах. В зависимости от ионогенности они образуют или водородные мостики, или электростатически взаимодействуют с зарядами частиц и вызывают их дестабилизацию – это принцип действия анионных и катионных марок. В результате соединения большого количества отдельных частиц ведет к образованию объемных макрохлопьев, способных к седиментации или флотации. Оптимальность действия флокулянта определяется природой частиц, рН, электрической проводимостью, жесткостью, содержанием поверхностно-актив-

ных веществ и т.д. Флокулянт работает при рН от 1 до 14, эффективен в слабых и насыщенных солевых растворах при температурах от 0°C до 100°C. Praestol 2530 TR – проявляет среднюю анионную активность, а Praestol 650 TR – среднюю катионную активность.

Флокулянты Flopam – продукция компании SNF Floerger, которая является одной из ведущих в мире компаний по производству флокулянтов и коагулянтов. SNF Floerger производит полный спектр флокулянтов. Флокулянты Flopam интенсифицируют процесс коагулирования, способствуют увеличению образовавшихся хлопьев и последующему их удалению. Они также выступают в роли неионогенных, анионных и катионных. Неионогенный флокулянт Flopam – это растворимый полиакриламид. Анионный же синтезируют сополимеризацией мономера акриламида с акрилатом натрия. Катионный – сополимеризацией акриламида с метилхлоридом. Флокулянты этой марки позволяют уменьшить дозу коагулянтов, необходимых для дестабилизации коллоидной суспензии, но в то же время увеличить эффективность обработки сточных вод. Флокулянты марки Flopam 4115 SH, 4125 SH, 4140 SH, 4440 SH – катионные флокулянты низкой и средней активности [6].

Активная кремниевая кислота – анионный полимер – флокулянт, синтезируемый конденсацией низкомолекулярных кремниевых кислот, степень полимеризации, свойства растворов флокулянта АК определяются способами получения, условиями хранения растворов и др. Флокулянт АК получают из жидкого стекла – водного раствора  $Na_2O \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O$ . Существует понятие силикатного модуля ( $M$ ) – молярное отношение  $SiO_2/Na_2O$ . Наиболее эффективно жидкое стекло с  $M > 2,9$ .

Сущность механизма действия флокулянта АК – взаимодействие с положительно заряженными коллоидными частицами коагулянта и коллоидных частиц и, как результат, интенсификация образования макрохлопьев. Эффективность действия данного флокулянта максимальна при рН = 5,5. Рекомендуемая доза флокулянта АК 2–3 мг/л [7].

Для свинцовосодержащих сточных вод аккумуляторного производства свинец является наиболее опасным загрязнителем [8]. Для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования предельно допустимая концентрация свинца составляет 0,01 мг/л, для воды цен-

трализованных систем питьевого водоснабжения – 0,03 мг/л, класс опасности – 2 [9]. Для очистки сточных вод от ионов свинца дополнительно применяются сорбционные методы. Процесс сорбции исследовался на керамическом фильтрующем гранулированном материале КФГМ-7, который используется на АО «Тюменский аккумуляторный завод» [2].

*Методика приготовления модельных сточных вод:* для приготовления модельных сточных вод в пять мерных цилиндров на 500 мл поместили навеску свинцовой пасты массой 250 мг и 250 мг нитрата свинца, довели до метки водой. Для нейтрализации стоков добавили 1,5 мл раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Значение pH модельных вод после нейтрализации составило 8,3, что находится в допустимых пределах [10].

*Методика определения мутности:* использовали нефелометрический метод – ГОСТ Р 57164-2016. Измерили оптическую плотность вод на фотометре КФК-3-01-«ЗОМЗ» при длине волны падающего излучения 530 нм с кюветами с толщиной поглощающего свет слоя 50 мм. Так как оптическая плотность сточных вод не является показателем качества воды, перевели ее в показатель мутности. Для перехода от оптической плотности к мутности построили калибровочный график по стандартному образцу мутности (формазинная суспензия) ГСО 7271-96 [4].

*Методика исследования эффективности действия флокулянтов:* в мерные цилиндры вместимостью 500 мл с приготовленными сточными водами последовательно с помощью мерной пипетки добавляли коагулянт и с помощью мерной пробирки по истечению 5 мин – флокулянты. После 30 мин отстаивания и после 90 мин отстаивания во все цилиндры погружали мерные пипетки на глубину ниже уровня жидкости на 10 см для забора пробы. На основании предыдущих исследований доза коагулянтов составляла от 100 до 300 мг/л в виде 5%-ного водного раствора, доза флокулянта 1 мл 0,1%-ного раствора на 500 мл сточной воды (2мг/л) [10]. Во всех пробах измеряли значение оптической плотности на фотометре КФК-3-01-«ЗОМЗ» при длине волны падающего излучения 530 нм с кюветами с толщиной поглощающего свет слоя 50 мм по методике ГОСТ Р 57164-2016.

*Методика исследования процесса сорбции:* процесс сорбции проводили в динамических условиях с использованием сорбента КФГМ-7. Задали скорость капания 3,3 м/ч при высоте слоя сорбента 0,7 м. Для про-

цесса сорбционной доочистки брали образцы сточной воды, после коагулирования – флокулирования и пропускали их через лабораторную установку [10].

*Методика определения содержания свинца:* содержание свинца в модельных водах проводили плумбоновым методом согласно ГОСТ 18293-72. Суть метода заключается в образовании соединения свинца с плумбоном, имеющего желто-оранжевый цвет. Предварительно свинец экстрагируется дитизоном в четыреххлористом углеороде. Измеряли оптическую плотность рабочего раствора свинца относительно холостой пробы на КФК-3-01 – «ЗОМЗ» при длине волны падающего излучения 490 нм с кюветами с толщиной поглощающего свет слоя 50 мм [11].

### Результаты исследования и их обсуждение

Данные по исследованию эффективности действия флокулянтов марки Praestol с различными коагулянтами представлены на рис. 1.

Из зависимости, изображенной на рис. 2, можно предположить, что флокулянт Praestol 2531TR – анионный средней активности, в большей степени снижает мутность, поскольку удаляемые катионы  $\text{Pb}^{2+}$  имеют положительный заряд по сравнению с флокулянтом Praestol 650 TR, который в свою очередь является катионным. Причем наибольшее снижение мутности наблюдалось при коагулянте  $\text{FeSO}_4$  с оптимальной дозой 3 мл, по сравнению со смешанным коагулянтом  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  в соотношениях 1:1 и 2:1.

Данные по исследованию эффективности действия флокулянтов марки Floram с различными коагулянтами представлены на рис. 2.

Из анализа зависимости изображенной на рис. 2, видно, что при коагулянте  $\text{FeSO}_4$  (3 мл) и флокулянте Floram 4125, являющемся катионным, наблюдается резкое снижение мутности сразу после внесения коагулянта и дальше процесс затухает. При смешанном коагулянте  $\text{FeCl}_3 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (1:1) и флокулянте Floram 4440 наблюдается незначительное снижение мутности. Это можно объяснить тем, что флокулянты, являясь катионными, слабо влияют на содержание катионов ( $\text{Pb}^{2+}$ ). Разница в абсолютном снижении мутности зависит от используемых коагулянтов. Флокулянт марки Floram 4440 более эффективен с коагулянтом  $\text{FeSO}_4$ .

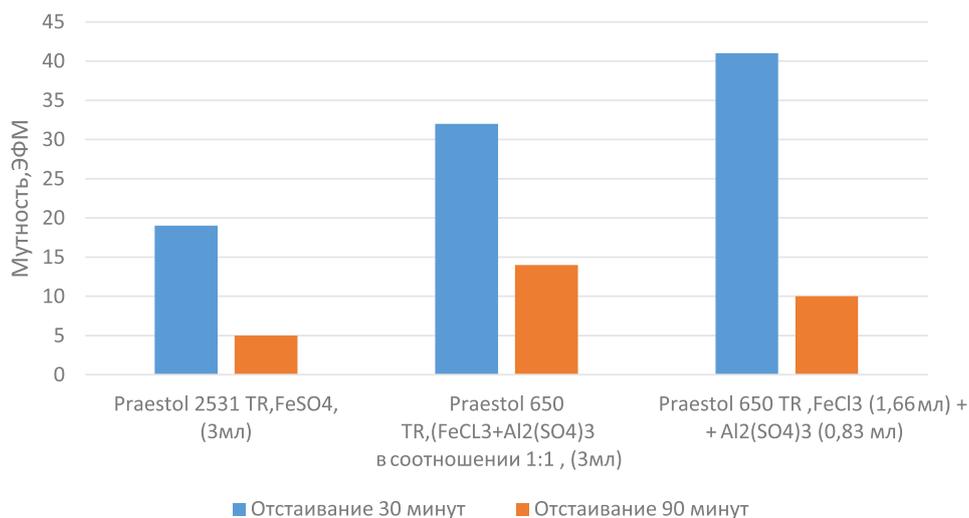


Рис. 1. Изменение мутности вод с использованием флокулянтов марки Praestol при различных коагулянтах

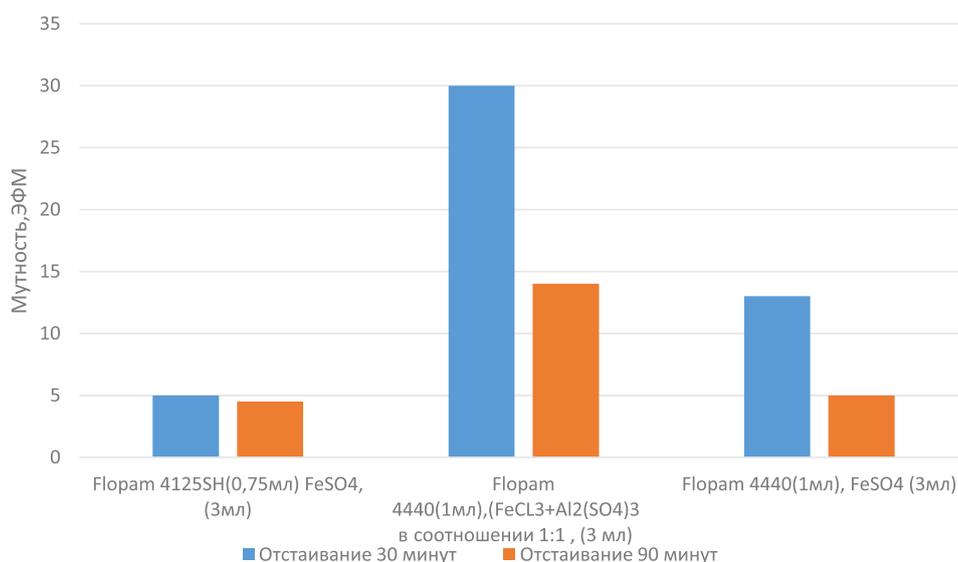


Рис. 2. Изменение мутности вод с использованием флокулянтов марки Flopat при различных коагулянтах

Данные по исследованию эффективности действия флокулянта  $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  с различными коагулянтами представлены на рис. 3.

Флокулянт  $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (жидкое стекло) – это неиногенный флокулянт. Наиболее эффективен в сочетании со смешанным коагулянтом  $\text{FeCl}_3 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (1:1). По сравнению с ранее используемыми флокулянтами жидкое стекло дает наибольшее понижение мутности. Самый низкий эффект с коагулянтом Эквитал, поскольку

он представляет собой водный раствор полиоксихлорида алюминия и в соединении с жидким стеклом, который при гидролизе дает щелочную среду, неэффективен, так как осадок гидроксида алюминия, образующийся в свою очередь при гидролизе сульфата алюминия, растворим в щелочных средах.

Данные по исследованию содержания свинца в сточных водах после коагулирования – флокулирования и сорбции представлены на рис. 4.

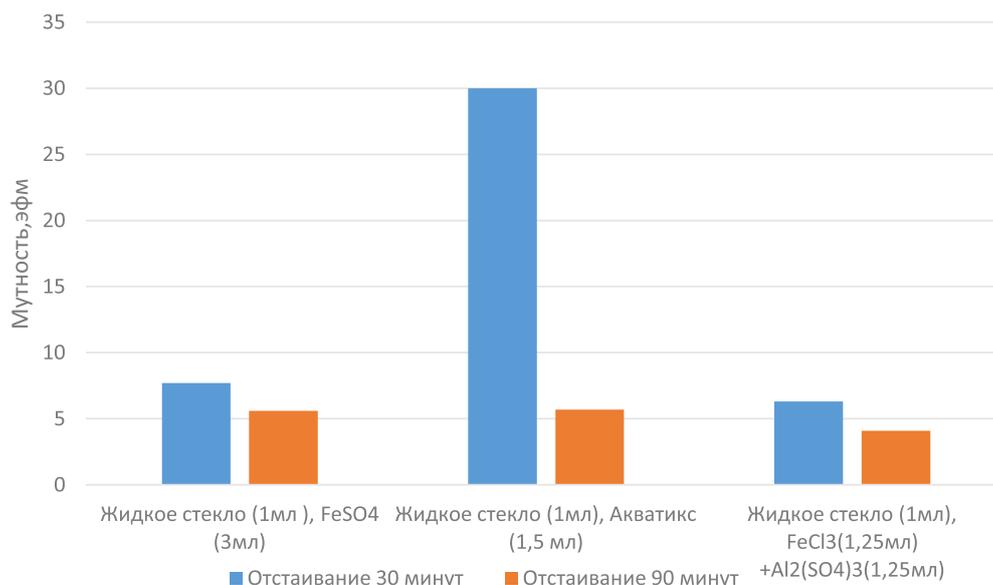


Рис. 3. Изменение мутности вод для флокулянта  $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (жидкое стекло) при различных коагулянтах

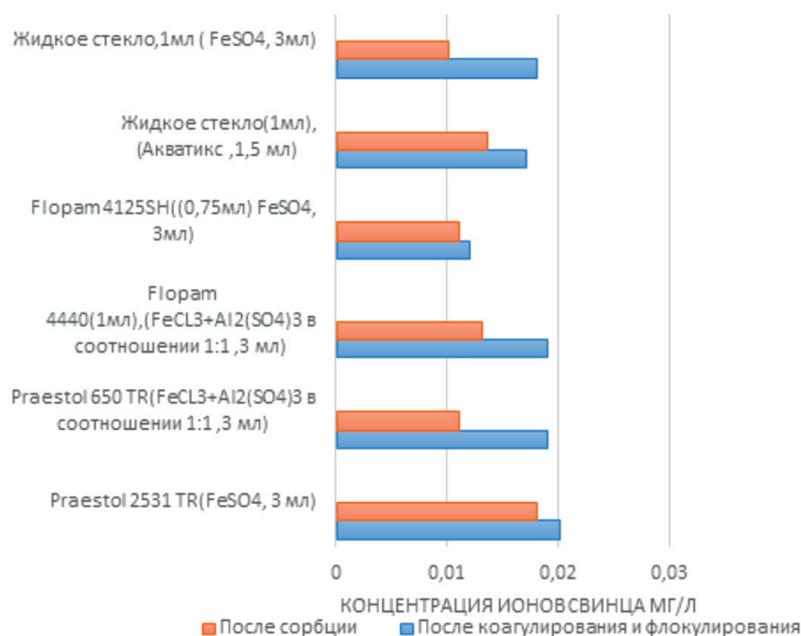


Рис. 4. Изменение концентраций свинца после коагулирования флокулирования и сорбции

Исходя из данной диаграммы можем сделать вывод, что самым эффективным флокулянтом для выведения  $\text{Pb}^{2+}$  является  $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (жидкое стекло) в сочетании с коагулянтом  $\text{FeSO}_4$ , этот факт можно объяснить тем, что жидкое стекло – анионный флокулянт, который активно взаимодействует с катионами свинца.

### Заключение

На основании проведённых исследований можно сделать вывод, что извлечение из сточной воды свинца, после коагуляции – флокуляции, для каждого сочетания коагулянт – флокулянт достигает максимальных результатов с разными реагентами. Наи-

лучшие результаты были достигнуты после коагуляции – флокуляции сточных вод с использованием  $\text{FeSO}_4$  с оптимальной дозой 150 мг/л при добавлении флокулянта марки Floпам 4125 SH (2 мг/л).

После проведения динамической сорбции концентрация ионов свинца при использовании в качестве флокулянта  $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (жидкое стекло) с коагулянтом  $\text{FeSO}_4$  составила 0,01 мг/л. Данная схема очистки более эффективна, чем та, что в данный момент используется на АО «Тюменский аккумуляторный завод», так как значительно повышает качество сточных вод за счет использования более современных реагентов в их оптимальных дозах.

На основании проведённых исследований можно сделать вывод, что сочетание коагулянт – флокулянт имеет решающее значение для результата очистки сточных вод. Особенно важен исходный состав сточных вод и предварительные экспериментальные исследования для каждого конкретного случая.

Результаты исследования могут быть использованы в технологии обработки используемых вод аккумуляторного производства.

#### Список литературы / References

1. Тюменский аккумуляторный завод. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tyumen-battery.ru/index.php> (дата обращения: 12.12.2019).
2. Tyumen Battery Plant [Electronic Resource]. URL: <http://www.tyumen-battery.ru/index.php> (date of access: 12.12.2019) (in Russian).
3. Ситтиг М. Извлечение металлов и неорганических соединений из отходов / Пер. с англ. С.А. Маслова. М.: Металлургия, 1985. 408 с.
4. Sittig M. Recovery of metals and inorganic compounds from waste / Per. s angl. S.A. Maslova. M.: Metallurgiya, 1985. 408 p. (in Russian).
5. Очистка сточных вод промышленных предприятий: учебное пособие / сост. Т.И. Халтурина. Красноярск: СФУ, 2014. 164 с.
6. Industrial Wastewater Treatment: Tutorial / sost. T.I. Khalturnina. Krasnoyarsk: SFU, 2014. 164 p. (in Russian).
7. Качалова Г.С. Усовершенствование технологии обработки сточных вод аккумуляторного производства (на примере АО «Тюменский Аккумуляторный завод») // Успехи современного естествознания. 2019. № 6. С. 67–73.
8. Kachalova G.S. Improvement of the technology of treatment of waste water of battery production (on the example of JSC «Tyumen Battery Plant») // Advances in current natural sciences. 2019. № 6. P. 67–73 (in Russian).
9. Производитель флокулянта Праестол. [Электронный ресурс]. URL: <https://matsura.ru/index.php/home/17-praestol/53-proizvoditel-flokulyanta-praestol-praestol> (дата обращения: 12.12.2019).
10. Producer of the Prayestol flokulyant. [Electronic resource]. URL: <https://matsura.ru/index.php/home/17-praestol/53-proizvoditel-flokulyanta-praestol-praestol> (date of access: 12.12.2019) (in Russian).
11. Теория применения флокулянтов. [Электронный ресурс]. URL: [http://floculant.ru/content/files/Teoriya\\_primeneniya.pdf](http://floculant.ru/content/files/Teoriya_primeneniya.pdf) (дата обращения: 12.12.2019).
12. Theory of application of flocculants. [Electronic resource]. URL: [http://floculant.ru/content/files/Teoriya\\_primeneniya.pdf](http://floculant.ru/content/files/Teoriya_primeneniya.pdf) (date of access: 12.12.2019) (in Russian).
13. Физико-химические основы процесса флокуляции. [Электронный ресурс]. URL: [https://studopedia.ru/5\\_25281\\_fiziko-himicheskie-osnovi-protsesta-flokulyatsii.html](https://studopedia.ru/5_25281_fiziko-himicheskie-osnovi-protsesta-flokulyatsii.html) (дата обращения: 12.12.2019).
14. Physical and chemical bases of process of flocculation. [Electronic resource]. URL: [https://studopedia.ru/5\\_25281\\_fiziko-himicheskie-osnovi-protsesta-flokulyatsii.html](https://studopedia.ru/5_25281_fiziko-himicheskie-osnovi-protsesta-flokulyatsii.html) (date of access: 12.12.2019) (in Russian).
15. Егорова Г.Л., Худолей В.В. Свинец в окружающей среде: опасность для здоровья детей и её предупреждение. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.eco.nw.ru/lib/data/06/1/120106.htm> (дата обращения: 12.12.2019).
16. Egorova G.L., Khudolay V.V. Lead in the environment: danger to children 's health and its warning. [Electronic resource]. URL: <http://www.eco.nw.ru/lib/data/06/1/120106.htm> (date of access: 12.12.2019) (in Russian).
17. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. М.: Минздрав России, 2003. 173 с.
18. Качалова Г.С. Коагуляционно-сорбционная очистка сточных вод // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 2 (78). С. 32–39. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.2.32-39.
19. Kachalova G.S. Coagulation-sorption treatment of wastewater // Voda i ekologiya: problemy i resheniya. 2019. № 2 (78). P. 32–39 (in Russian).
20. ПНД Ф 14.1:2.54-96 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации свинца в природных и очищенных сточных водах фотометрическим методом с дитизином. [Электронный ресурс]. URL: [https://standartgost.ru/g/ПНД\\_Ф\\_14.1:2.54-96](https://standartgost.ru/g/ПНД_Ф_14.1:2.54-96) (дата обращения: 12.12.2019).

УДК 551.4.012:504.45

## КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНОГО БАЛАНСА ЛОКАЛЬНЫХ РЕЧНЫХ ГЕОСИСТЕМ

<sup>1</sup>Луговской А.М., <sup>2</sup>Купрюшин А.П.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК),  
Москва, e-mail: alug1961@yandex.ru;

<sup>2</sup>МОАУ ВО «Воронежский институт экономики и социального управления»,  
Воронеж, e-mail: lkap62@list.ru

Перспективным направлением исследований гидроклиматических характеристик является осуществление балансового подхода с выявлением новой характеристики – депонированной части водного баланса в пределах геосистем с учетом приходно-расходной части. Геоэкологический подход с использованием экономических категорий формирования баланса в исследовании гидрологических характеристик, расчетной базы для определения стока, методов статистического и картографического анализа позволяет использовать полученные результаты для уточнения водного баланса в пределах геосистем с учетом приходной, расходной и депонированной частей. В приходную часть отнесены все виды осадков в пределы локальной речной геосистемы извне в жидком агрегатном и твердом агрегатном состоянии, а также объем поступающих грунтовых вод. Депонированная часть в локальных речных геосистемах позволяет конкретизировать определение обводненности территории в межливневый период для нужд природопользования. Расходная часть безусловно складывается не только из стока, но и возвратных и безвозвратных потерь. Возвратные потери складываются из возвращаемых обратно в аэрозольно-капельном виде, а в зимний период в твердой фазе (туман, роса, ожеледь, наледь и т.п.), отражая динамическое равновесие в системе подстилающая поверхность и приземный слой воздуха. К их числу отнесен объем воды, испарившейся в жидкой фазе и с твердофазной поверхности, объем воды, испарившейся непосредственно с поверхности растений и потерянный в результате транспирации, гуттации и потоотделения животными. Для оценки водного баланса необходим учет депонированной воды в прудах для обеспечения полива, располагающихся на первичных звеньях гидрографической сети – малых водосборах рассчитан для природных зон Среднего и Нижнего Дона. Расчет необходимого объема потенциального забора воды по определенному размеру водопотребления, который может быть отнесен в расходную часть водного баланса.

**Ключевые слова:** оценка водного баланса, приход, расход, возвратные потери и депонированная часть; сток локальных речных систем

## CONCEPTUAL MODEL OF FORMATION OF WATER BALANCE OF LOCAL RIVER GEOSYSTEMS

<sup>1</sup>Lugovskoy A.M., <sup>2</sup>Kupryushin A.P.

<sup>1</sup>Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), Moscow, e-mail: alug1961@yandex.ru;

<sup>2</sup>Voronezh Institute of Economics and Social Management, Voronezh, e-mail: lkap62@list.ru

A promising area of research of hydro-climatic characteristics is the implementation of the balance approach with the identification of a new characteristic—the deposited part of the water balance within geosystems, taking into account the input and output part. The geoecological approach with the use of economic categories of balance formation in the study of hydrological characteristics, the calculation base for the determination of flow, statistical and cartographic analysis methods, allows to use the results to clarify the water balance within geosystems, taking into account the arrival, flow and deposited parts. The input part includes all types of precipitation within the local river geosystem from outside in the liquid aggregate and solid aggregate state, as well as the volume of incoming groundwater. The deposited part in local river geosystems allows to concretize definition of water content of the territory in the inter-war period for needs as nature management. The expenditure part certainly consists not only of runoff, but also of returnable and irretrievable losses. Return losses are composed of returned back in aerosol-drip form, and in the winter in the solid phase (fog, dew, ozheled, ice, etc.).p.), reflecting the dynamic equilibrium in the system of the underlying surface and the surface layer of air. These include the volume of water evaporated in the liquid phase and from the solid-phase surface, the volume of water evaporated directly from the surface of plants and lost as a result of transpiration, guttation and sweating by animals. To assess the water balance, it is necessary to take into account the deposited water in the ponds for irrigation, located on the primary links of the hydrographic network—small catchments are calculated for the natural zones of the Middle and Lower don. Calculation of the required volume of potential water intake for a certain amount of water consumption, which can be attributed to the expenditure part of the water balance.

**Keywords:** assessment of water balance, arrival, flow, return losses and deposited part; flow of local river systems

Функционирование геосистем с максимально возможным эффективным самовосстановлением в условиях сочетания техногенных факторов на фоне воздействия естественных, воспроизводство природных

ресурсов в условиях изменения водного баланса как важнейшего связующего звена зависит как от условий хозяйствования в современных изменившихся формах собственности, а следовательно, и управления

ресурсопользованием, так и от изменения наметившейся региональной динамики климатических условий в результате глобального изменения климата [1, 2]. Перспективным направлением исследований изменений гидроклиматических характеристик на разных уровнях организации геосистем является осуществление балансового подхода с выявлением принципиально новой характеристики – депонированной части водного баланса в пределах геосистем с учетом приходно-расчетной части.

Исследование геосистем глобально, регионального и локального уровней подразумевает ретроспективный анализ факторов формирования стоковых процессов как в течение годичного цикла, так и в разные промежутки времени, причем особый интерес с точки зрения интенсивности процессов формирования геосистем представляет исследование депонированной части в структуре водного баланса в пределах геосистем с учетом приходно-расчетной части.

#### **Материалы и методы исследования**

Подобные исследование невозможны без проведения начального этапа – выявления типологии речных геосистем на базе классификации интенсивности водосборных территорий. В то же время исследование стоковых процессов позволяет проследить динамику формирования рельефа геосистемы, а выявление депонированной части в водном балансе позволяет выявить функциональные особенности формирования подавляющего большинства компонентов внутри геосистемы, в частности почвенных характеристик, состава и продуктивности биоценозов, определить предельные границы хозяйственного использования компонентов геосистемы [3, 4].

Геоэкологический подход с использованием экономических категорий формирования баланса в исследовании гидрологических характеристик, предлагаемый нами, а также использование расчетной базы для определения стока, методов статистического и картографического анализа позволяет использовать полученные результаты по следующим направлениям:

– определение критериев оценки структуры и функционирования гидрологического комплекса факторов геосистемы под влиянием комплекса антропогенных и естественных условий на основе разделения приходной, расходной и депозитарной частей водного баланса;

– выявление диапазона колебания стока, особенно в ранневесенний период, позволяет определить количественную составляющую депозитарной части, определяющий потенциал функционирования геосистемы в последующие периоды с уменьшением количества приходной части водного баланса в летне-осенний период года;

– на локальном уровне водосбора в первичной гидрологической сети выявить ключевые процессы формирования регионального водного баланса;

– усовершенствование схемы мониторинга на основе функциональной системы районирования геосистем выявленных на основе бассейнового подхода и местоположения в структуре водного баланса с учетом хозяйственной деятельности для планирования рациональных гидротехнических мероприятий для создания оптимальных путей стока и депонирования водных ресурсов территории для максимизации биологической продуктивности геосистем;

– анализ проводимой хозяйственной деятельности с перспективным планированием в условиях региональных гидрологических изменений глобального теплового и водного балансов.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

На наш взгляд, надо не только усовершенствовать существующие методики, а кардинально пересмотреть структуру водного баланса территорий в зависимости от морфолого-генетических уровней гео-гидросистем. Предлагаемый нами подход в оценке не только приходно-расходной части, но и депонированной части, особенно на уровне локальных речных геосистем, позволяет конкретизировать задачу определения обводненности территории в межливневый период для нужд как природопользования, так и в функционировании естественных геосистем в целом.

В приходную часть нами отнесены все виды осадков, поступающие в пределы локальной речной геосистемы извне в жидком агрегатном и твердом агрегатном состоянии, а также объем поступающих грунтовых вод.

Расходная часть, безусловно, складывается не только из стока, но и возвратных и безвозвратных потерь. Безвозвратные потери вод – это важный элемент водного баланса, на наш взгляд, незаслуженно оставшийся за пределами внимания исследователей, состоит из объема воды, расхо-

дуемой на фотолиз в процессе фотосинтеза, и объема воды, выносимой в составе биомассы и в составе воздушных масс за пределы локальных речных геосистем.

Возвратные потери складываются из возвращаемых обратно в аэрозольно-капельном виде, а в зимний период в твердой фазе (туман, роса, ожеледь, наледь и т.п.), отражая динамическое равновесие в системе подстилающая поверхность и приземный слой воздуха. К их числу нами отнесен объем воды, испарившейся в жидкой фазе и с твердофазной поверхности, объем воды, испарившейся непосредственно с поверхности растений и потерянный в результате транспирации, гуттации и потоотделения животными. На первый взгляд, можно игнорировать эту, казалось бы, незначительную величину. Однако, вспоминая о влиянии транспирации влажных тропических лесов на характеристику воздушных масс, и учитывая взаимоотношение в локальных речных геосистемах других природных зонах с низким коэффициентом увлажнения, где растительность многократно увеличивает площадь испаряющей подстилающей поверхности, следует признать необходимым исследование вклада этой статьи баланса в общий водный баланс территории. Сток неравномерен по времени и складывается из плоскостного, склонового поверхностного и вертикального подземного стока первичной гидрографической сети постоянных водотоков и временных водотоков.

Кроме этого, важнейшим направлением является выделение в структуре водного баланса депонентной части, исследование которой позволяет существенно уточнить распределение объема вод не только в пространстве, но и во временном диапазоне. Именно эта статья водного баланса определяет эмерджентное свойство водных геосистем, позволяющее сохранять динамическое равновесие в засушливые периоды и определяющее характер стоковых процессов в целом. В пределах локальной речной геосистемы воды депонируются на поверхности в осенне-зимний период объем в виде запасов снега, наледи и почвенного льда. В составе почвы объем почвенной воды складывается из химически связанной с комплексом гуминовых кислот воды и объемом пленочной, газофазной, капиллярной и гравитационной, перемещающейся под действием силы тяжести воды.

Депонирование почвенной влаги в момент весеннего снеготаяния складывается из следующих источников – воды осенних

осадков, из снежной растаявшей во время оттепелей влаги и оставшейся к началу осеннего периода воды. Объемы депонирования почвенной воды в осенний и в зимний период составляют соотношение примерно 2:1, но большое значение играет территориальное распределение с учетом условий природных зон – так влажность почвы на западе Центрально-Черноземного района составляет 180 мм, а на восток на Тамбовской равнине снижается до 100 мм.

С юга на север объем депонированной воды уменьшается со 100 мм в почвенном слое мощностью в 1 м до 140 мм за счет водопотерь в период зимних оттепелей, хотя показатель объема депонированной воды очень неустойчивый показатель, коэффициент вариации, меняющийся по годам, уменьшается в северном (от 0,5 до 0,6) и западном направлении (до 0,35). При этом за счет большого количества бессточных углублений разного происхождения отмечается отклонение от зональных закономерностей с юг на север с 55 до 20 мм на сток талых вод, а поверхностное депонирование составляет 6 мм. В период снеготаяния часть талых вод пополняют расходную часть баланса за счет увеличения испаряемости, средняя величина которой по многолетним данным равна 8 мм с интенсивностью 0,35 мм за сутки при однородных метеоусловиях на обширной территории района. Расчет расходной части баланса талых вод, уменьшающийся с 70 до 50 мм на севере, будет составлять разницу между объемом просочившихся депонированных в почву талых вод и талых вод, задержанных на поверхности, с потерями на испарение за период половодья. На пространственное распределение будет оказывать существенное влияние фактор рельефа, механический состав почвы и материнских пород, наличие гуминовых кислот, которые коагулируют воду, увеличивая объем депонированной воды. Рельеф будет определять скорость подземного стока и, следовательно, время для процесса депонирования с почвогрунт. На подветренных западных склонах Среднерусской возвышенности суммарные значения стока талых вод составляют до 45 мм в среднем, а на востоке достигают больших значений – до 70 мм. Механический состав определяет соотношение между гравитационной и капиллярной формами влаги. Однако расчеты депонирования талых вод в почве будут варьировать в зависимости от глубины промерзания грунта и его влажности, а также продолжительности самого периода снеготаяния.

В контактном слое в системе «почва – атмосфера» воды депонируются в газообразном виде, ритмически переходя в капельножидкую фазу и обратно в соответствии с суточным ритмом колебания температур. На поверхности депонирование происходит в отрицательных формах микрорельефа, образуя «депресссионные» воды. К их числу следует отнести не только водоемы различного происхождения – озера, болота и искусственные водохранилища, но и многочисленные микродепрессии, образующие колоссальные площади испарения. К числу депонированных вод следует отнести объем воды в составе наземной и подземной фитомассы, а также наземной и почвенной зоомассы. Учитывая тот факт, что организм состоит из воды более чем на 70%, следует вести расчет депонированной воды из биомассы геосистемы.

Для определения структуры водного баланса необходим учет в геосистемах бассейнов рек связей и дифференцировки компонентов вертикальной стратификации наземного, подземного и надземного ярусов. Надземный ярус, являясь контактной зоной надземного с подземным ярусом, депонирует воды с разной степенью длительности с последующим водосбором в водотоки и водохранилища различного типа с преобладанием относительно горизонтального перемещения. В подземном ярусе при относительной однородности движение идет как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях, образуя подземный сток. Вертикально перемещающиеся вода будут составлять депонированные, а горизонтально перемещающиеся будут увеличивать расходную часть водного баланса территории. В атмосферном ярусе вода перемещается в вертикально-горизонтальном направлении и будет увеличивать приходную статью водного баланса остальных структурных компонентов геосистемы. Иерархия водных геосистем тесно связана с процессами, происходящими в них, которые могут быть представлены в иерархической системе водного баланса: глобальный круговорот воды – региональное перераспределение водного баланса – формирование стока на уровне локальных речных геосистем. Исходя из этого, учет процессов первичной гидрографической сети в пределах локальных речных геосистем принципиально важен для расчета не только регионального перераспределения водного баланса, но и для расчета глобальных процессов формирования гидросферы. В част-

ности, учитывая статью безвозвратных потерь в биологических процессах локальных речных геосистем, рассчитываемую исходя из образования объема биомассы, можно предположительно рассчитать объем ювенальных вод, образуемых в процессе поддержания гомеостаза гидросферы на глобальном уровне. Следует оговориться, что при расчете глобального водного баланса следует учитывать влияние антропогенного фактора в диссоциации вод и безвозвратные потери воды в составе шлейфа атмосферы в околоземном пространстве при движении планеты.

Главной задачей в процессе антропогенного водохозяйственного природопользования является расчет необходимого объема потенциального забора воды по определенному размеру водопотребления, который может быть отнесен в расходную часть водного баланса и может быть рассчитан по формуле

$$V_{np} = N_{op} s,$$

где  $V_{np}$  – объем проектируемого потенциального забора воды ( $m^3$ );  $N_{op}$  – норма для орошения ( $m^3/га$ );  $s$  – площадь земель для орошения (га).

Исходя из проведенных нами оценок норм водозабора в зависимости от природно-климатических условий различных природных зон и соотнесенных с ранее проведенными исследованиями [5, 6] для зоны широколиственных и смешанных лесов для орошения 100 га вполне достаточен водосбор с площади 2 км<sup>2</sup>, тогда как в лесостепной зоне его площадь водосбора увеличивается в диапазоне 2,5–6 км<sup>2</sup>, а южные районы степной зоны должны иметь водосбор до 30 км<sup>2</sup>. Специфика орографических факторов территории исследования определила детерминирование сравнительно малых водотоков, водосборная площадь которых составляет десять и менее км<sup>2</sup> (их объем от общей площади равен 82%). Зональная принадлежность территории будет определять вариабельность водного баланса: лесостепная зона имеет средний показатель густоты речной сети для малых рек (10 и менее км) равный 0,25 км/км<sup>2</sup> (максимум 0,6–1,0 км/км<sup>2</sup> в пределах Среднерусской возвышенности), степная же зона по этому показателю отстает вдвое (менее 0,12 км/км<sup>2</sup>) [7, 8]. Депонированная в водохранилищах вода с малых первичных водосборов необходима для водного баланса, хотя они и расположенных весьма неравномерно по территории [9, 10].

Поэтому нами предполагается соотносить пруды пропорционально их отнесению к рангу гидрологической сети, в зависимости от местоположения, размера и площади водосбора – чем выше ранг звена в гидрологической сети, тем больше объема воды в пруду (площадь зеркала пруда становится больше в среднем на 6–7 га на 1 м его глубины). Наши расчеты показывают, что между площадью зеркала пруда и его объемом в лесостепной и степной природных зонах существует тесная зависимость с высоким коэффициентом корреляции ( $r > 0,8$ ).

### Заключение

Таким образом, исходя из проведенного нами анализа эффективности природопользования для использования местного стока для оптимального водозабора и решения проблем орошения в сельском хозяйстве исследуемого региона можно сделать вывод о том, что выполняемые нормативные гидрологические расчеты по СНиПу зачастую не отвечают требованиям актуальным потребностям водохозяйственно-природопользования, с одной стороны, и охранной и рациональным использованием ресурсов в вододефицитных районах с неустойчивым типом выпадения осадков. При этом создание антропогенных водохранилищ для депонирования воды при динамическом сохранении приходной и расходной ее частей повышает устойчивость системы и позволяет наращивать объем производства первичной биологической продуктивности с заметным объемом роста продуктивности сельскохозяйственных растений.

Изложенные обстоятельства наглядно демонстрируют актуальность и практическую значимость перспективных исследований механизма формирования водного баланса с учетом режима стока, и его депонирование в целях экономически эффективного использования в сельском хозяйстве и осуществлении мероприятий по охране природы. Проведенные нами исследования на уровне локальных речных геосистем на примере бассейна Верхнего и Среднего Дона, позволяют уточнить методологический подход в расчете водного баланса территории различного уровня с учетом многочисленных разнообразных физико-химических и биологических процессов, что является возможным только с позиций системного подхода исследования разновневных систем.

*Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-010-00203 «Эффективное импортозамещение и рациональное природопользование как основа экономико-экологической безопасности».*

### Список литературы / References

1. Кочуров Б.В. Баланс экологии и хозяйства // Земля и вселенная. 1995. № 4. С. 39–44.
2. Межова Л.А., Потапова И.С., Пожидаяева Ю.В., Луговской А.М. Теоретический анализ критериев оценки качества жизни населения // Пятое Семеновские чтения: наследие П.П. Семенова-Тянь-Шанского и современная наука: материалы международной научно-практической конференции и 1-й встречи пользователей gvSIG в России. 2012. С. 97–107.
3. Mezghova L.A., Potapova I.S., Pozhidaeva Yu.V., Lugovskoy A.M. Theoretical analysis of criteria for assessing the quality of life of the population // Fifth Semenov readings: legacy of P.P. Semenov-Chan-Shansky and modern science: materials of the international scientific and practical conference and the 1st meeting of gvSIG users in Russia. 2012. P. 97–107 (in Russian).
4. Луговской А.М., Плисецкий Е.Л., Бортникова Г.А. Маргинальные территории: оценка и направления использования ресурсного потенциала // География в школе. 2017. № 7. С. 11–17.
5. Lugovskoy A.M., Plisetsky E.L., Bortnikova G.A. Marginal territories: assessment and directions of use of resource potential // Geografiya v shkole. 2017. № 7. P. 11–17 (in Russian).
6. Анисимов О.А., Борзенкова И.И., Жильцова Е.Л., Захарова О.К., Кокорев В.А., Ренева С.А., Стрельченко Ю.Г. Гидрометеорологические условия Волжского региона и современные изменения климата // Метеорология и гидрология. 2011. № 5. С. 33–42.
7. Anisimov O.A., Borzenkova I.I., Zhiltsova E. L., Zakharova O.K., Kokorev V.A., Reneva S.A., Strelchenko Yu.G. Hydrometeorological conditions of the Volga region and current climate changes. Russian Meteorology and Hydrology. 2011. V. 36. № 5. С. 307–314. DOI: 10.3103/S1068373911050049.
8. Купрюшин А.П., Рязанцев В.К. Местный сток и экологические проблемы (на примере бассейна Верхнего и Среднего Дона). Воронеж: ВГПУ, 2005. 228 с.
9. Kurushin A.P., Ryazantsev V.K. Local runoff and environmental problems (for example, the basin of the Upper and the Middle don). Voronezh: VGPU, 2005. 228 p. (in Russian).
10. Рязанцев В.К., Шевченко А.Н. Проблемы исследования географических закономерностей гидрологических явлений. Липецк: Изд. пед. инст., 1992. 118 с.
11. Ryazantsev V.K., Shevchenko A.N. Problems of research of geographical regularities of hydrological phenomena. Lipetsk: Izd. ped. inst., 1992. 118 p. (in Russian).
12. Исмайылов Г.Х., Мурашенкова Н.В. Цикличность многолетних колебаний годового и сезонного стока бассейна Верхнего Дона // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018: материалы международной научно-практической конференции. Севастополь: СевГУ, 2018. С. 494–498.
13. Ismayylov G.H., Murashenkova N.V. Cyclicity of long-term fluctuations of annual and seasonal runoff of the Upper don basin // Ecological, industrial and energy security-2018: proceedings of the international scientific and practical conference. Sevastopol: Sevgi, 2018. P. 494–498 (in Russian).
14. Исмайылов Г.Х., Мурашенкова Н.В. Пространственно-временные закономерности изменчивости и взаимосвязи ЭВБ половодья и межени в бассейне реки Волги в XX веке // Современные проблемы стохастической гидрологии и регулирования стока: труды Всероссийской научной конферен-

ции, посвященной памяти выдающегося ученого-гидролога профессора А.В. Рождественского. М., 2012. С. 354–363.

Ismayylov G.H., Murashenkova N.V. Spatio-temporal regularities of variability and interrelation of EVB of high water and low water in the Volga river basin in the XX century // Modern problems of stochastic hydrology and flow regulation: proceedings of the all-Russian scientific conference dedicated to the memory of the outstanding scientist-hydrologist Professor A.V. Rozhdestvensky. М., 2012. P. 354–363 (in Russian).

9. Каюкова Е.П. Изучение и оценка подземного стока малых рек на примере бассейна р. Бодрак (юго-западный Крым) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2015. № 2. С. 130–151.

Kayukova E.P. Study and assessment of the underground flow of small rivers on the example of the Bodrak river basin (South-Western Crimea) // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 7. Geologiya. Geografiya. 2015. № 2. P. 130–151 (in Russian).

10. Яковлев П.И. Оценка подземного притока Верхней Волги гидрометрическими и гидрохимическими методами на участке реки от истока до г. Твери // Вода и экология: проблемы и решения. 2012. № 2–3. С. 149–172.

Yakovlev P.I. Assessment of the underground inflow of the Upper Volga by hydrometric and hydrochemical methods on the river section from the source to Tver // Voda i ekologiya: problemy i resheniya. 2012. № 2–3. P. 149–172 (in Russian).

УДК 504.064.2:502.2.08:551.4.044:528.854.2:519.876.5

**ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛГОТЫ В ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧКАХ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ РУСЛА МАЛОЙ РЕКИ ИРОВКА****Мазуркин П.М., Георгиева Я.О.***Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола,  
e-mail: kaf\_po@mail.ru, yanageorgieva2017@yandex.ru*

Река Ировка по широте находится в прямоугольнике 23.89 мин и по долготе 18.89 мин. Цель статьи – анализ волновых уравнений в виде асимметричных вейвлетов изменения координаты – местной долготы. После идентификации вейвлета были получены 18 составляющих с переменными амплитудой и периодом колебания. Значимая часть колебаний происходит вдоль р. Ировка протяженностью 69 км. Три первых члена дали корреляцию 0.9991, что чуть меньше для местной широты 0.9999. Уровень адекватности равен более 0.9, и поэтому уравнение является сильнейшей факторной связью. Другие 15 членов повышают уровень адекватности до 1. Анализ показал, что местная долгота малой реки по измерениям на снимках из космоса дает высокую определенность квантованию колебаний. По интервалам погрешность моделей после 18-го члена распределяется так: 0–1.0% 203 шт. (70%); от 0 до 5% – 277 точек русла, что равно 95.52% от 290 характерных точек. Норму погрешности моделирования 5%, тогда оставшиеся 290 – 277 = 13 точек требуют отдельного анализа. Влияние широты на долготу показано двухчленным трендом и 11 волновыми уравнениями, и это сложнее известных рядов Фурье: амплитуда и период колебаний являются переменными. Резкие изменения кривизны русла в плане по характерным точкам не менее 10–15° дали добротный статистический материал. Заметна фрактальность рельефа и русла вдоль малой реки: чем точнее будут измерения ландшафта, тем больше будет выявлено вейвлетов.

**Ключевые слова:** малая река, космический снимок, русло, точки, долгота, распределения, вейвлеты**WAVELET ANALYSIS OF EAST LONGITUDE AT CHARACTERISTIC POINTS OF THE LONGITUDINAL PROFILE SMALL RIVER IROVKA****Mazurkin P.M., Georgieva Ya.O.***Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola,  
e-mail: kaf\_po@mail.ru, yanageorgieva2017@yandex.ru*

The Irovka River in latitude is in the rectangle 23.89 minutes and in longitude 18.89 minutes. The purpose of the article is the analysis of wave equations in the form of asymmetric wavelets of coordinate change – local longitude. After identifying the wavelet, 18 components with variable amplitude and oscillation period were obtained. A significant part of the oscillations occurs along the Irovka River with a length of 69 km. The first three members gave a correlation of 0.9991, which is slightly less for the local latitude 0.9999. The adequacy level is more than 0.9 and therefore the equation is the strongest factorial relationship. The other 15 members increase the level of adequacy to 1. The analysis showed that the local longitude of a small river, as measured by images from cosmos, gives a high certainty to the quantization of oscillations. At intervals, the error of the models after the 18th term is distributed as follows: 0 – 1.0% 203 pcs. (70%); from 0 to 5% – 277 points of the channel, which is 95.52% of 290 characteristic points. The norm of the modeling error is 5%, then the remaining 290 – 277 = 13 points require a separate analysis. The influence of latitude on longitude is shown by two-membered trend and 11 wave equations, and it is more complicated than the well-known Fourier series: the amplitude and period of oscillations are variable. The sharp changes in the curvature of the channel in terms of characteristic points of at least 10-15° yielded sound statistical data. The fractality of the relief and the channel along the small river is noticeable: the more accurate the measurements of the landscape, the more wavelets will be revealed.

**Keywords:** small river, satellite image, channel, points, longitude, distribution, wavelets

Одним из возможных путей анализа дистанционного зондирования Земли является использование подходов математической морфологии ландшафтов – направления ландшафтоведения, изучающего количественные закономерности построения мозаик, образованных на земной поверхности, и разрабатывающего методы их математического анализа [1].

В статье [2] дан краткий обзор опыта применения гармонического анализа для морфометрической характеристики рельефа. Получены до 10 гармоник с постоянными периодом и амплитудой колебания. Преобразование Фурье может

использоваться для задач классификации и районирования земной поверхности по ее гармоническим характеристикам, определяющим специфику топографического расчленения участка. В другой статье [3] показано, что цифровые модели рельефа и космические снимки позволяют выявить важные характеристики ландшафтов применительно к элементам рельефа, проследить изменения и спрогнозировать последствия природно-антропогенного и антропогенного воздействия на экосистемы.

По космическим снимкам получены координаты (широта, долгота, высота) по ин-

струкции [4]. На линии стрежня в русле малой реки выбираются характерные точки по космическому снимку от истока до устья и составляется таблица исходных данных для последующего статистического моделирования методом идентификации волновых закономерностей [5].

Цель – выявление и анализ асимметричных вейвлетов по одной координате – приведенной к параметрам р. Ировка местной восточной долготы. Для этого от истока до устья в русле стрежня Ировки по кривизне русла выделили 290 характерных точек. Методика измерений была показана в статье [6].

**Материалы и методы исследования**

В табл. 1 даны измерения и их сравнение с моделями.

Асимметричные вейвлет-сигналы записываются волновой формулой [5] вида

$$y_i = A_i \cos(\pi x / p_i - a_{8i}),$$

$$A_i = a_{1i} x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i} x^{a_{4i}}),$$

$$p_i = a_{5i} + a_{6i} x^{a_{7i}}, \quad (1)$$

где  $y$  – учитываемый показатель (зависимый фактор),  $i$  – номер составляющей общей модели (1),  $m$  – количество членов

в модели (1),  $x$  – объясняющая переменная (влияющий фактор),  $a_1...a_8$  – параметры модели (1), принимающие числовые значения в ходе структурно-параметрической идентификации в программной среде CurveExpert-1.40,  $A_i$  – амплитуда (половина) вейвлета (ось  $y$ ),  $p_i$  – полупериод колебания (ось  $x$ ).

**Результаты исследования и их обсуждение**

В табл. 2 приведены значения параметров модели (1) по 13 членам влияния местной широты на долготу.

На рис. 1 даны графики трех членов и их объединения в одну формулу.

Таким образом, распределение долготы от широты определяется волновыми уравнениями, причем они гораздо сложнее рядов Фурье, так как амплитуда и период колебаний переменные. Двухчленный тренд показывает, что малая река Ировка протекает в прямоугольнике 23.89 мин длиной (по местной широте Север – Юг) и 18.89 мин шириной (по местной долготы). Резкие изменения кривизны русла в плане по 290 характерным точкам дали 11 волновых уравнений (табл. 2). Таким образом, заметна фрактальность в строении рельефа и русла малой реки: чем точнее будут измерения ландшафта, тем больше будет выявлено вейвлетов.

**Таблица 1**

Ранговые распределения характерных точек и местной долготы продольного профиля русла малой реки Ировка

Ранг точки	Ранг $R_p$	Восточная долгота	Долгота $\beta$ , минута	Расчетные значения		
				$\beta$ , минута	$\epsilon_{18}$ , минута	$\Delta$ , %
0	20	E49°20.09'	17.39	17.425	0.0350129	0.20
1	19	E49°20.20'	17.50	17.527	0.0268094	0.15
2	17	E49°20.32'	17.62	17.611	-0.00942622	-0.05
3	15	E49°20.37'	17.67	17.609	-0.0605765	-0.34
...	...	...	...	...	...	...
250	287	E49°3.371'	0.230	0.307	0.0767206	<b>33.36</b>
...	...	...	...	...	...	...
287	171	E49°4.719'	2.019	2.010	-0.00857075	-0.42
288	164	E49°4.735'	2.035	2.048	0.0134797	0.66
289	172	E49°4.717'	2.017	2.032	0.0147019	0.73

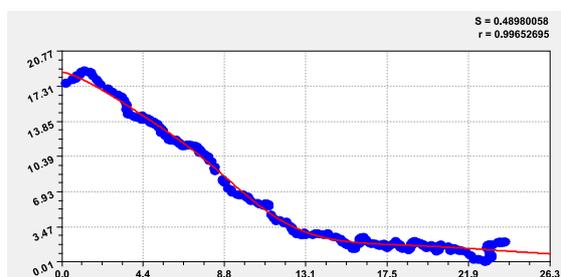
**Таблица 2**

Влияние широты Север – Юг от истока до устья на долготу реки Ировка

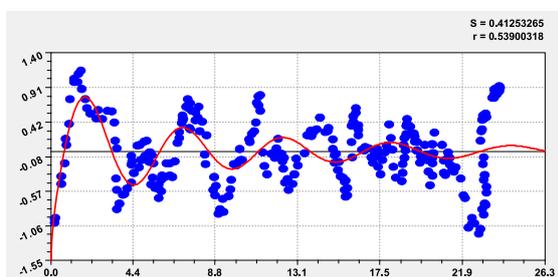
Номер $i$	Вейвлет $y_i = a_{1i} x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i} x^{a_{4i}}) \cos(\pi x / (a_{5i} + a_{6i} x^{a_{7i}}) - a_{8i})$								Коэф. корр. $r$
	Амплитуда (половина) колебания				Полупериод колебания			Сдвиг	
	$a_{1i}$	$a_{2i}$	$a_{3i}$	$a_{4i}$	$a_{5i}$	$a_{6i}$	$a_{7i}$		
1	19.08116	0	0.039811	1.32388	0	0	0	0	0.9976
2	-1.61185e-6	26.25390	14.89933	0.49461	0	0	0	0	
3	-2.09089	0	0.82090	0.40884	2.36913	0.0028086	1.55183	-0.35993	

Окончание табл. 2

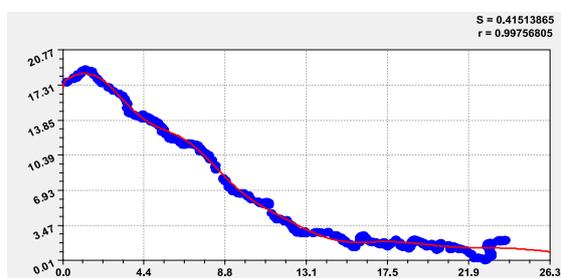
Номер $i$	Вейвлет $y_i = a_{1i}x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i}x^{a_{4i}}) \cos(\pi x / (a_{5i} + a_{6i}x^{a_{7i}}) - a_{8i})$								Коэф. корр. $r$
	Амплитуда (половина) колебания				Полупериод колебания			Сдвиг $a_{8i}$	
	$a_{1i}$	$a_{2i}$	$a_{3i}$	$a_{4i}$	$a_{5i}$	$a_{6i}$	$a_{7i}$		
4	1.95823e-5	0	0.448432	1.00282	0.0820466	0.0119878	1.00090	5.45636	0.4873
5	0.0168527	3.08551	0.378919	1.00055	1.58592	6.89209e-5	2.25901	2.74470	0.5584
6	4.51507e-6	4.65846	0.00126702	2.65421	0.156256	0.232502	0.219714	12.08418	0.3172
7	0.00742864	0	2.07429	0.127857	-0.0334208	1.99360	0.0795731	6.22674	0.3006
8	1.14486e-8	7.88750	0.253085	1.12234	5.64354	1.01837	0	0	0.2100
9	1.59713e-7	5.97718	0.379652	0.825954	0.857850	0	0	6.11295	0.2035
10	1.28249	0.788528	1.19686	0.595343	0.772734	0.0263791	0.913011	1.77834	0.3538
11	1.79254e-13	11.76514	0.564683	0.905328	0.375291	0	0	2.47176	0.1360
12	0.0264789	1.10650	0.119784	0	0.497133	0	0	1.05946	0.2198
13	1.31795e-8	11.27609	2.044278	0.735657	0.594690	0	0	0.978506	0.0465



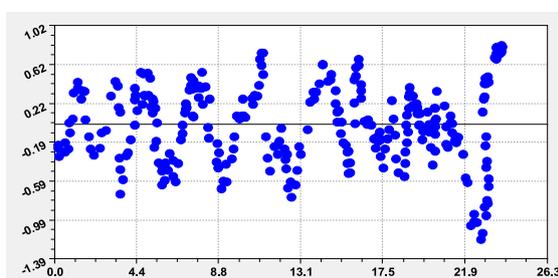
Двухчленный тренд



Колебание



Двухчленный тренд и колебание



Остатки после трехчленной модели

Рис. 1. Графики влияния широты Север – Юг от истока до устья на долготу от левой точки русла реки Ировка

Идентификацией модели (1) было получено 18 вейвлетов долготы (табл. 3, рис. 2–4).

Первые три вейвлета дали коэффициента корреляции 0.9991. Первый член есть модифицированный закон Мандельброта [5], и он показывает экспоненциальный разворот русла на запад. Второй член по биотехническому закону [5] дает возбуждение рельефа на запад. Три колебания указывают на позитивное изменение ландшафта при-

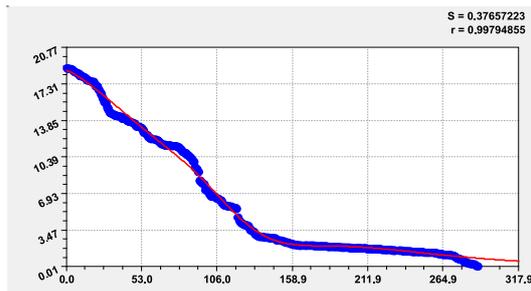
мерно до середины малой реки. А шестой член характерен для поведения устья малой реки Ировка.

Еще шесть членов показывают локальное изменение рельефа русла реки. Таким образом, географическая долгота вдоль русла малой реки изменяется, как и широта, волнообразно по асимметричным вейвлетам. На это влияет колеблющийся в плане стрежень русла малой реки Ировка между характерными точками малой реки.

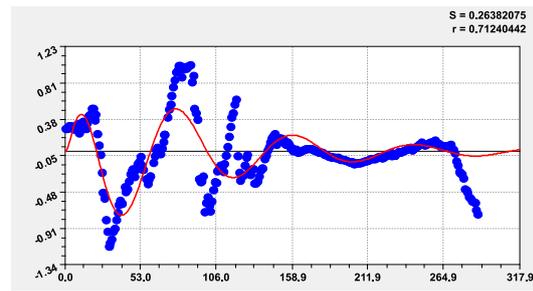
Таблица 3

Параметры (1) распределений по рангам долготы реки Ирровка

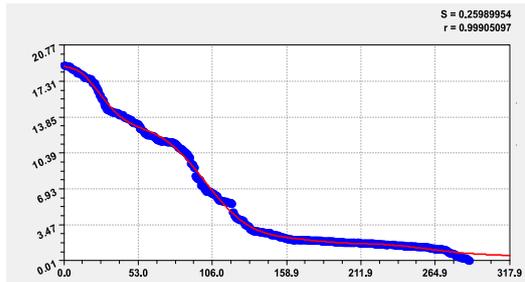
Номер $i$	Вейвлет $y_i = a_{1i}x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i}x^{a_{4i}}) \cos(\pi x / (a_{5i} + a_{6i}x^{a_{7i}}) - a_{8i})$								Коэф. корр. $r$
	Амплитуда (половина) колебания				Полупериод колебания			Сдвиг	
	$a_{1i}$	$a_{2i}$	$a_{3i}$	$a_{4i}$	$a_{5i}$	$a_{6i}$	$a_{7i}$	$a_{8i}$	
1	18.74005	0	0.0018915	1.31141	0	0	0	0	0.9991
2	-3.54095e-14	94.91149	150.10476	0.21629	0	0	0	0	
3	1.44702e6	6.58267	20.25179	0.17525	3.00095	30.03474	0.040801	0.14536	
4	7.26081e-7	3.57383	0.00167623	1.62071	18.84378	8.39282e-5	1.89187	1.5461	0.7776
5	0.136962	0.711550	0.282787	0.558071	10.13446	0.0879591	0.572429	3.0931	0.5012
6	6.36221e-7	0	0.0411849	1.02605	04.72321	0.00560603	1.04115	0.592858	0.7010
7	0.00286152	1.02550	4.52966e-4	1.68641	6.85528	0.00267353	0.82799	1.68637	0.5040
8	1.02961e-27	15.84112	0.0635878	1.16178	1.94778	0	0	1.60019	0.2269
9	2.47538e-133	80.52037	0.6816976	0	4.99899	5.2465e-4	0.841448	1.59807	0.4686
10	0.0369682	0.184497	2.28544e-4	1.52781	23.39567	3.84322e-4	1.86656	1.77078	0.5315
11	5.86913e-4	1.55214	0.0254379	1.00020	8.72253	8.93225e-4	1.33455	1.58790	0.4655
12	9.29327e-5	2.05055	0.209654	0.613475	1.55638	0.00146157	1.55734	3.09580	0.3152
13	3.96597e-16	7.66169	0.0185167	1.17166	7.65696	0.00346936	1.21366	13.37270	0.1871
14	9.05519e-7	3.81736	0.0760401	1.00904	4.34034	332126e-4	1.13981	2.07944	0.2893
15	2.51056e-4	1.88212	0.0568959	0.994927	1.38098	2.34393e-4	1.04177	0.067522	0.1450
16	0.00716105	0.249398	5.24321e-4	1.52331	5.46810	0.966844	0	0	0.1184
17	4.58922e-63	37.51718	0.116845	1.21796	1.67233	0	0	2.19317	0.3101
18	6.0678e-34	19.30668	0.118273	1.05796	4.17660	0.00108311	1.22631	7.95796	0.3836



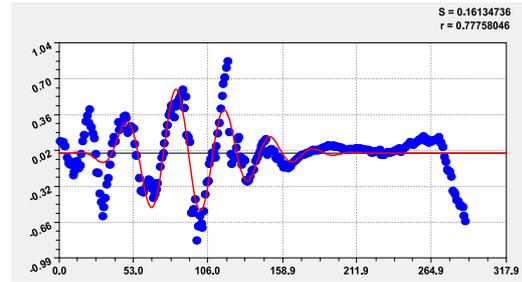
Двухчленный тренд



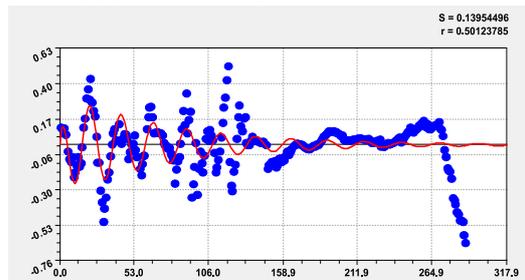
Первое колебание



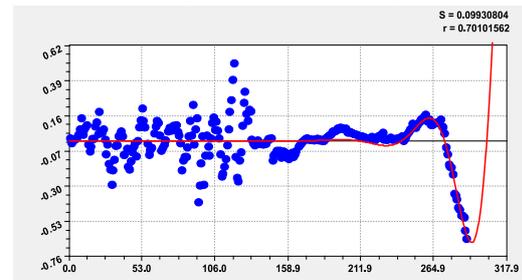
Двухчленный тренд и колебание



Четвертая составляющая



Пятая составляющая



Шестая составляющая

Рис. 2. Графики моделей распределения по рангам долготы реки Ирровка

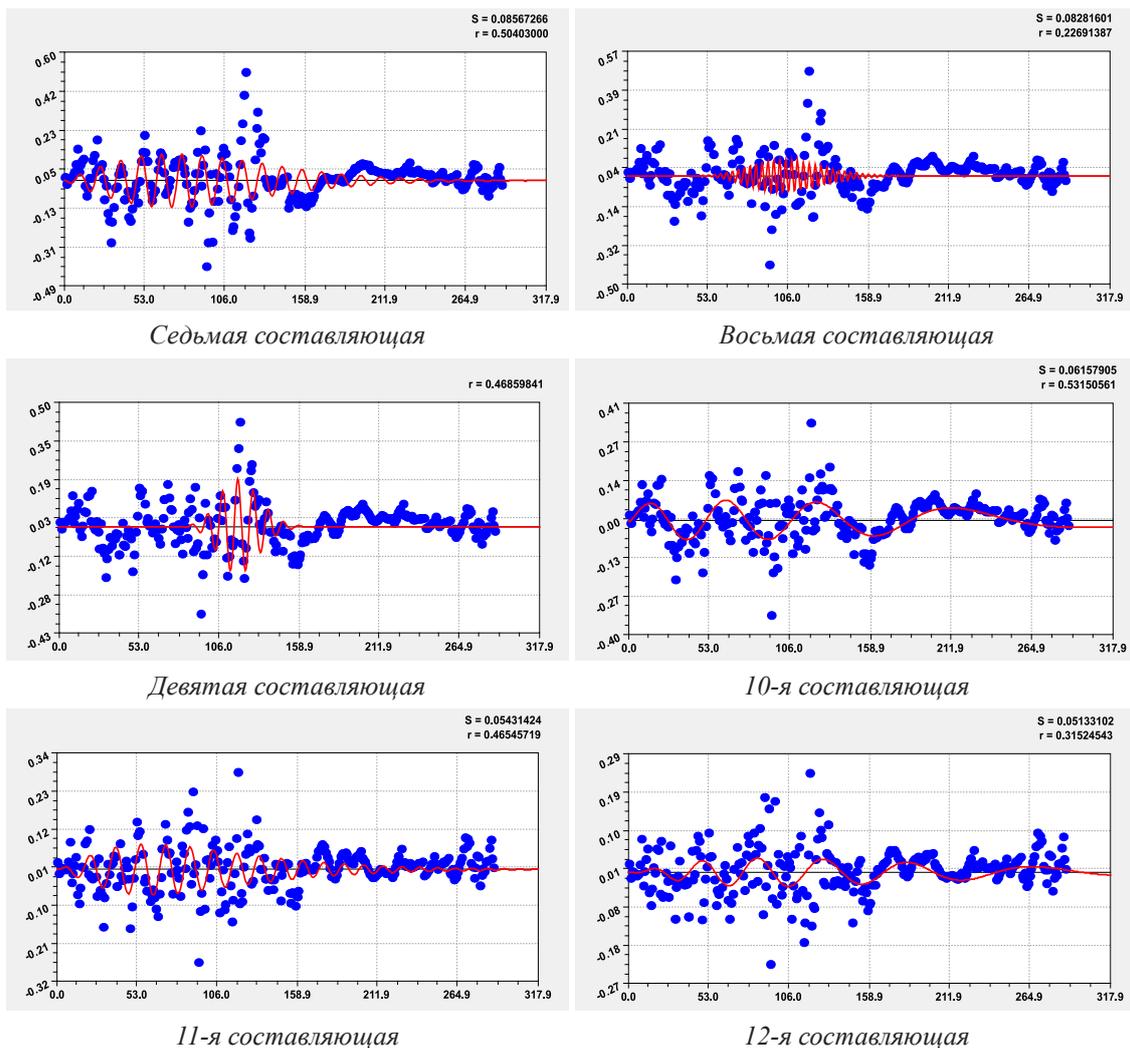


Рис. 3. Графики дополнительных моделей распределения долготы реки Ировка по рангам

На рис. 4 появляются вдоль реки несколько коротких вейвлетов.

После 18-го члена общей модели (1) процесс квантования вейвлетов сильно затрудняется. Это означает, что погрешность измерений дальше не позволяет получать высокую квантовую определенность. Для продолжения квантования всей речной системы нужно только уменьшить погрешность измерений. Рельеф получает квантовую запутанность только при значительном антропогенном влиянии. По-видимому, это замечательное математическое свойство стабильности динамики рельефа заключается в его естественной эволюции за очень продолжительное время (без влияния человека столетиями).

Остатки от 18-го колебания после рангового распределения долготы дали высокую погрешность моделирования 33.36% ближе к устью на точке с рангом 250 (табл. 1).

В этом месте происходит поворот малой реки Ировка на восток. По местной широте намного большая погрешность была получена в истоке Ировки (бесконечность), поэтому верховье реки летом пересыхает именно из-за изменений высоты в зависимости от широты и долготы.

По интервалам 0,1 погрешность распределась так (по модулю): при нуле 3 шт. (1.03%); 0–0,1% всего 37 шт. (12,76%); 0,1–0,2% 29 шт. (10,00%); 0,2–0,3% 33 шт. (11,38%); 0,3–0,4% 24 шт. (8,28%); 0,4–0,5% 22 шт. (7,59%) и т.д. По крупным интервалам: 0–1,0% всего 203 шт. (70%); от 0 до 5% распределяются 277 характерных точек русла, что равна 95,52% от 290 характерных точек. Норму погрешности измерений и моделирования примем 5%, тогда оставшиеся 290 – 277 = 13 точек русла требуют отдельного рассмотрения.

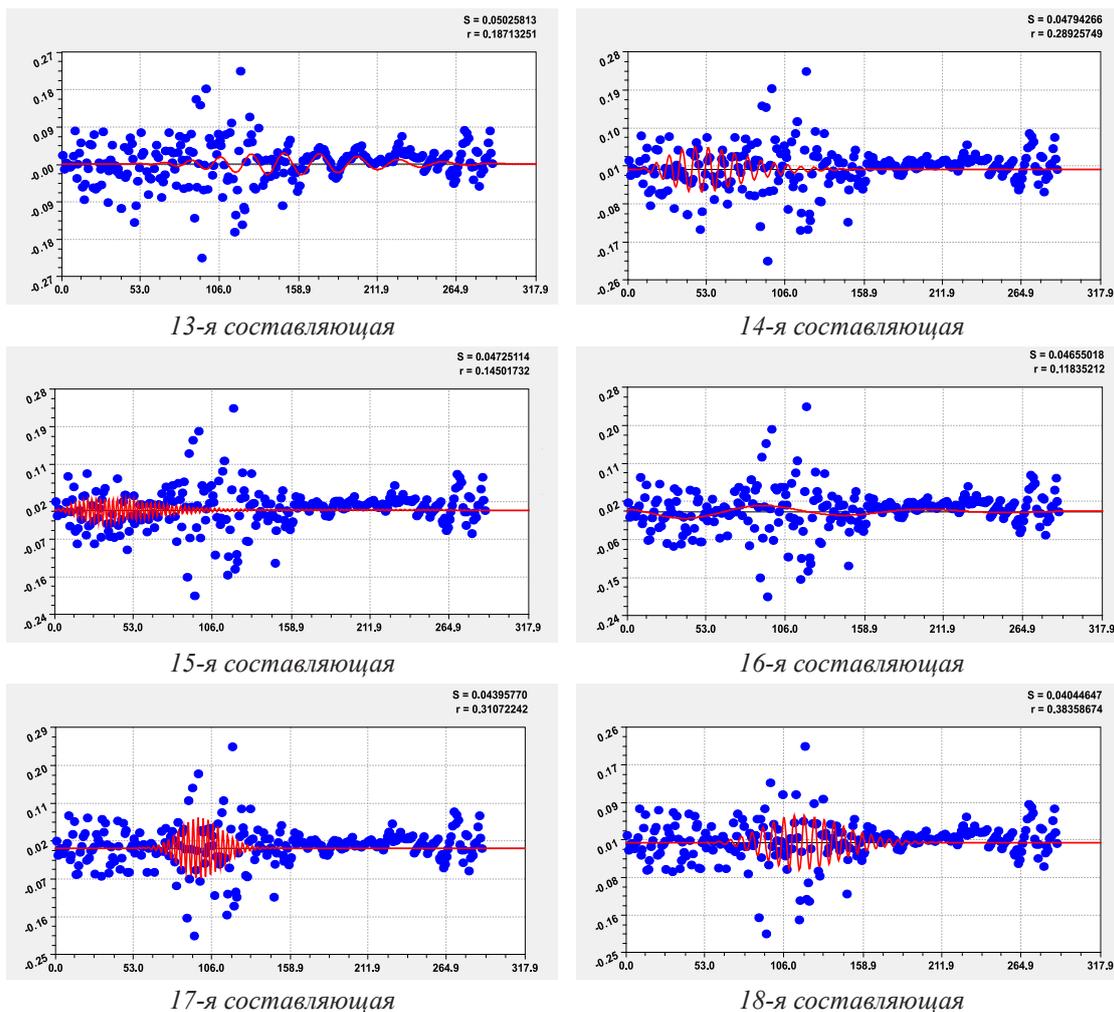


Рис. 4. Графики последних моделей распределения долготы реки Ирвкка по рангам

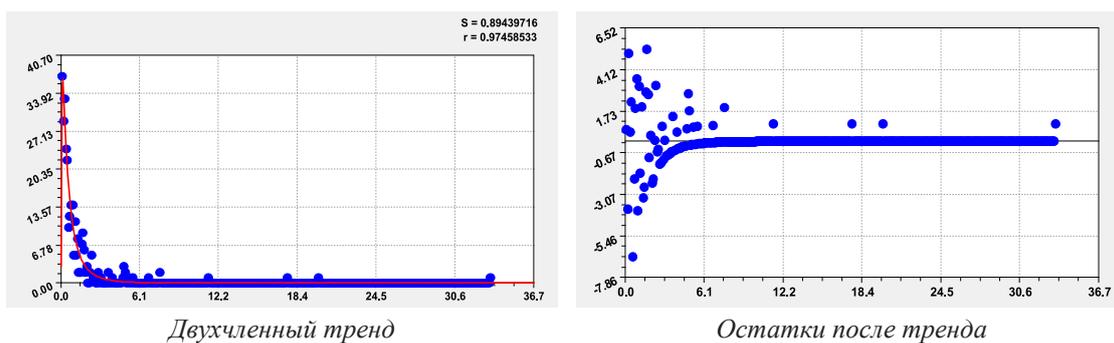


Рис. 5. Графики распределения погрешности моделирования долготы реки Ирвкка

На рис. 5 приведен график распределения погрешности модели по формуле

$$n = 3.02237 \exp(-0.60656\Delta_{0.1}) + 943.91958\Delta_{0.1}^{0.76971} \exp(-4.85636\Delta_{0.1}^{0.49132}). \quad (2)$$

По остаткам от тренда (2) наибольший разброс наблюдается при погрешности мо-

делирования до 5%. По второй части этой формулы происходит резкий всплеск до 3%.

### Заключение

Моделирование распределений приведенной к данной местности малой реки долготы позволило получить 18 составляющих

общей формулы вейвлета с распределением погрешности моделирования в основном до 5%. При этом особое значение приобретает волновое изменение местной широты от Севера на Юг (было получено 25 членов) и местной долготы (19 членов рангового распределения) на примере от истока до устья малой реки Ировка). В итоге географические координаты малой реки в плане позволяют математически описать рельеф русла.

Первые три члена модели (1) для долготы дали адекватность по коэффициенту корреляции 0.9991. Уровень адекватности более 0.99, и он относится к сильнейшей факторной связи. Остальные 15 членов (1) увеличивают адекватность до 1. Долгота малой реки Ировка по космоснимкам позволяет получить высокую определенность процесса квантования вейвлетов.

По крупным интервалам погрешность моделирования после 18-го члена распределяется так: 0–1,0% всего 203 шт. (70%); от 0 до 5% распределяются 277 характерных точек русла, что равно 95,52% от 290 характерных точек. Норму погрешности измерений и моделирования примем 5%, тогда оставшиеся  $290 - 277 = 13$  характерных точек русла малой реки Ировка требуют отдельного рассмотрения.

#### Список литературы / References

1. Садков С.А. Исследование морфологической структуры равнин с развитием просадочных процессов на осно-

ве подходов математической морфологии ландшафтов // Геоморфология. 2019. № 1. С. 48–58. DOI: 10.31857/S0435-42812019148-58.

Sadkov S.A. Morphological structure of plains subject to ground Subsidence on the basis of mathematical morphology of landscapes approach // Geomorfologiya. 2019. № 1. P. 48–58 (in Russian).

2. Харченко С.В. К вопросу о применении гармонического анализа при количественной характеристике рельефа // Геоморфология. 2017. № 2. С. 14–24. DOI: 10.15356/0435-4281-2017-2-14-24.

Kharchenko S.V. Application of harmonic analysis for the quantitative description of earth surface topography // Geomorfologiya. 2017. № 2. P. 14–24 (in Russian).

3. Рулев А.С., Юфеев В.Г. Математическое и геоморфологическое моделирование эрозионных ландшафтов // Геоморфология. 2016. № 3. С. 36–45. DOI: 10.15356/0435-4281-2016-3-36-45.

Rulev A.S., Yuferev V.G. Mathematical and geomorphological modeling of the erosion landscapes // Geomorfologiya. 2016. № 3. P. 36–45 (in Russian).

4. Карты высот, уклонов. [Электронный ресурс]. URL: <http://votetovid.ru/#56.201192,48.95536,17z,51v30l> (дата обращения: 02.12.2019).

Maps of heights, slopes. [Electronic resource]. URL: <http://votetovid.ru/#56.201192,48.95536,17z,51v30l> (date of access: 02.12.2019) (in Russian).

5. Mazurkin P.M. Wavelet Analysis Statistical Data. Advances in Sciences and Humanities. 2015. Vol. 1. No. 2. P. 30–44. DOI: 10.11648/j.ash.20150102.11.

6. Георгиева Я.О., Мазуркин П.М. Сравнение земельного покрова по берегам вдоль реки Ировка по спутниковым снимкам // Международный студенческий научный вестник. 2019. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=19812> (дата обращения: 27.12.2019).

Georgieva Ya.O., Mazurkin P.M. Comparison of land cover along the banks of the Irovka River by satellite imagery // Mezhdunarodnyu studencheskiy nauchnyy vestnik. 2019. № 6. [Electronic resource]. URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=19812> (date of access: 27.12.2019) (in Russian).

УДК 551.3

**ПРОЯВЛЕНИЕ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
НА АВТОТРАССЕ «КОЛЫМА» (ЯКУТСК – МАГАДАН)****<sup>1</sup>Поморцева А.А., <sup>2</sup>Поморцев О.А., <sup>1</sup>Поспехов Г.Б., <sup>1</sup>Кондакова В.Н.**<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург,  
e-mail: a.a.pomortseva@mail.ru;<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Якутск

Рассматриваются современные инженерно-геологические проблемы автотрассы «Колыма» – Якутск – Магадан проложенной в труднодоступной горной местности хребтов Верхоянья и системы Черского, в исключительно сложных природно-климатических условиях, в зоне сплошного распространения толщ многолетнемерзлых пород, мощность которых достигает 500 м и более и крайне расчлененного рельефа. Особое внимание уделено выявлению закономерностей возникновения и развития опасных инженерно-геологических процессов и явлений на автотрассе. Материалы, положенные в основу работы, были получены авторами в период с 2000 по 2019 г. в процессе климатологических, физико-географических, палеогеографических и инженерно-геологических исследований природных комплексов Якутии (Россия) выполнявшихся в рамках целевых федеральных (2013–2014) и региональных (2005–2017) грантов и личной инициативы авторов. В масштабах опытного участка трассы (600–725 км) определены природные и техногенные факторы, обуславливающие опасные инженерно-геологические проявления на трассе. Рассмотрена роль геолого-тектонических, геоморфологических, геокриологических, гидрогеологических и климатических условий. Установлено, что в своем заложении, особенно в процессе реконструкции в 2012–2017 гг., автотрасса «Колыма» нередко подрезает коллювиальные, пролювиально-делювиальные шлейфы гор и конусы выноса временных водотоков, создавая условия для поступления склоновых отложений непосредственно в зону полотна трассы. Развитию этого процесса наряду с широким распространением гляциальных, флювиогляциальных, делювиальных и др. наносов и значительных уклонов бортов долин нависающих над трассой, способствуют аномалии климата, модулирующие активизацию опасных экзогенных геологических проявлений. В условиях горной местности аномалии ливневых осадков модулируют паводковые волны катастрофических масштабов способные сносить не только подтаявшие отложения склонов, но и разрушать тело дорожной подушки, особенно на участках ливневых переходов. Оценена существующая инженерная защита трассы. Сделан прогноз развития инженерно-геологических процессов и явлений на перспективу и рекомендации по оптимизации инженерных решений в области обеспечения безопасной эксплуатации автотрассы.

**Ключевые слова:** автотрасса «Колыма», геологическая среда, инженерно-геологические обстановки, аномалии климата, экзогенные геологические процессы, инженерные решения

**MANIFESTATION OF DANGEROUS GEOLOGICAL PROCESSES  
ON THE KOLYMA HIGHWAY (YAKUTSK – MAGADAN)****<sup>1</sup>Pomortseva A.A., <sup>2</sup>Pomortsev O.A., <sup>1</sup>Pospekhov G.B., <sup>1</sup>Kondakova V.N.**<sup>1</sup>Saint-Petersburg Mining University, Saint Petersburg, e-mail: a.a.pomortseva@mail.ru;<sup>2</sup>North-Eastern Federal University after M.K. Ammosov, Yakutsk

The modern engineering and geological problems of the Kolyma – Yakutsk – Magadan highway laid in the inaccessible mountainous terrain of the Verkhoyanya ridges and Chersky system are considered, in extremely difficult natural and climatic conditions, in a zone of continuous distribution of permafrost which thickness reaches 500 m or more in conditions of extremely dissected relief. Particular attention is paid to identifying patterns of occurrence and development of hazardous engineering and geological processes and phenomena on the highway. The materials of the work were obtained by the authors in the period from 2000 to 2019 during the climatological, physical-geographical, paleogeographic and engineering-geological studies of natural complexes of Yakutia (Russia) carried out as part of targeted federal (2013-2014) and regional (2005-2017) grants and a personal initiative of the authors. On the scale of the experimental section of the route (600-725 km), natural and technogenic factors that cause the dangerous engineering and geological manifestations on the route have been determined. The role of geological-tectonic, geomorphological, geocryological, hydrogeological and climatic conditions is considered. It has been established that in its foundation, especially during the reconstruction in 2012-2017, the Kolyma highway often cuts off the colluvial, proluvial-deluvial mountain trails and the cones of the removal of temporary watercourses, creating conditions for the entry of slope deposits directly into the area of the track. The development of this process, along with the wide distribution of glacial, fluvioglacial, deluvial and other sediments and significant slopes of the sides of the valleys overhanging the route, is facilitated by climate anomalies modulating the activation of dangerous exogenous geological manifestations. In mountainous areas, anomalies of rainfall modulate catastrophic flood waves capable of carrying not only melted deposits of slopes, but also destroying the body of the road cushion, especially in areas of storm transitions. The existing engineering protection of the route is evaluated. A forecast for the development of geotechnical processes and phenomena in the future and recommendations for optimizing engineering solutions in the field of ensuring safe operation of the highway are made.

**Keywords:** Kolyma highway, geological environment, engineering and geological conditions, climate anomalies, exogenous geological processes, engineering solutions

Автотрасса «Колыма» – Якутск – Магадан является важнейшей транспортной артерией Сибири, обеспечивающей жиз-

недеятельность обширной территории Евразии расположенной к востоку от бассейна реки Лены. Учитывая наличие богатых

месторождений золота и других полезных ископаемых на площадях этой огромной и труднодоступной горной страны бесперебойная всесезонная эксплуатация, автотрассы для обеспечения их разработки приобретает стратегически важное значение [1].

В последние десятилетия на отдельных участках автотрассы отмечается усиление динамики экзогенных геологических процессов, что осложняет ее эксплуатацию. Существует мнение, что эта проблема связана с глобальным потеплением климата. Однако специальные исследования этого важного вопроса были начаты нами только в 2013 г.

Цель исследования: поиск закономерностей усиления динамики (активизации) опасных геологических процессов на автотрассе «Колыма».

Методология исследования включает в себя анализ картографической, геологической, геоморфологической, климатологической, гидрологической, геофизиологической и др. информации в масштабах объекта исследований – района прохождения автотрассы, полевые маршрутные инженерно-геологические изыскания на ключевых участках, аналитические лабораторные исследования образцов полевых сборов [2].

Природные условия исследуемой территории задаются ее географическим положением, геологическим строением и рельефом. Географически район относится к горным цепям Южного Верхоянья. Трасса пересекает осевые гребни двух горных

сооружений – хр. Сетте-Дабан и хр. Сунтар-Хаята. Район отличается сложным геолого-тектоническим строением и значительной расчлененностью рельефа. Климат суровый – резко континентальный с годовыми значениями амплитуды температуры приземного воздуха превышающими 100 °С (район прилегает к Оймякону – полюсу холода Северного полушария). Грунты основания находятся в твердомерзлом состоянии (сплошная криолитозона).

Глыбовая тектоника региона породила здесь чередование отдельных горных узлов, блоков и массивов, разделенных межгорными впадинами, котловинами и речными долинами. Наибольшей высоты горы достигают на юго-востоке, где сосредоточены наиболее значительные поднятия Верхоянно-Колымской горно-складчатой области. Максимальную абсолютную отметку имеет гора Муус-Хая (2959 м). Перепад высот между дном долин и вершинами водоразделов может превышать 1000 м.

В качестве эталонного был принят 125-километровый участок автотрассы, проходящий по долине р. Восточная Хандыга, ее притоку р. Сеторыму (бассейн р. Алдан) и далее на восток по долине р. Кобюме (бассейн р. Индигирка) – Томпонский и Оймяконский районы Республики Саха (Якутия) (рис. 1). За линией Алдано-Индигирского водораздела в бассейне р. Индигирки трасса выходит на плато и проходит на абсолютных отметках 1250–1300 м (рис. 1).

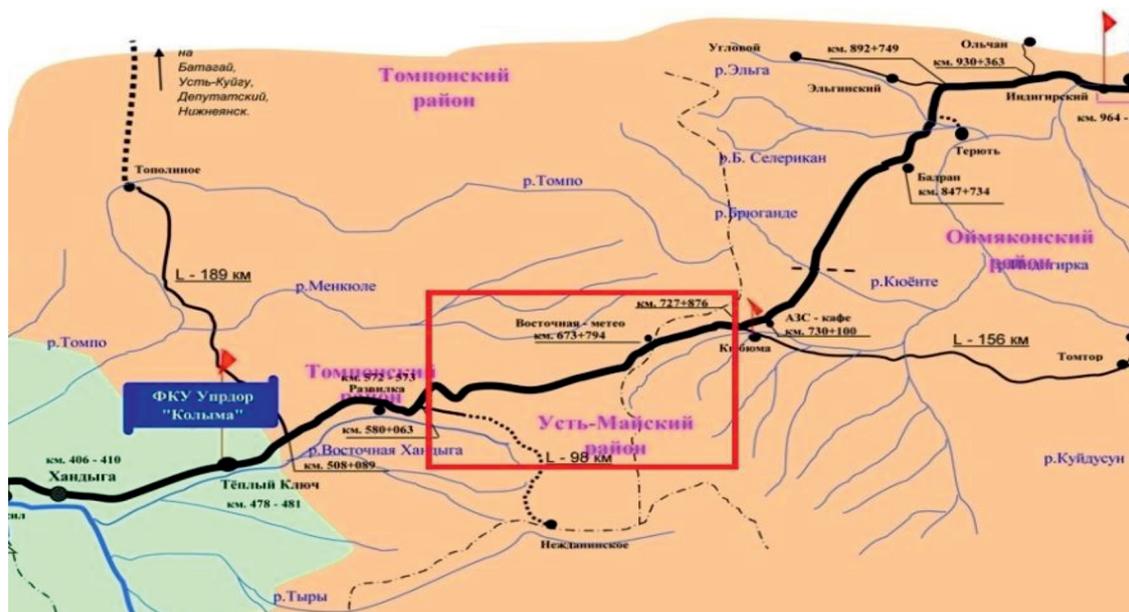


Рис. 1. План трассы и границы опытного участка

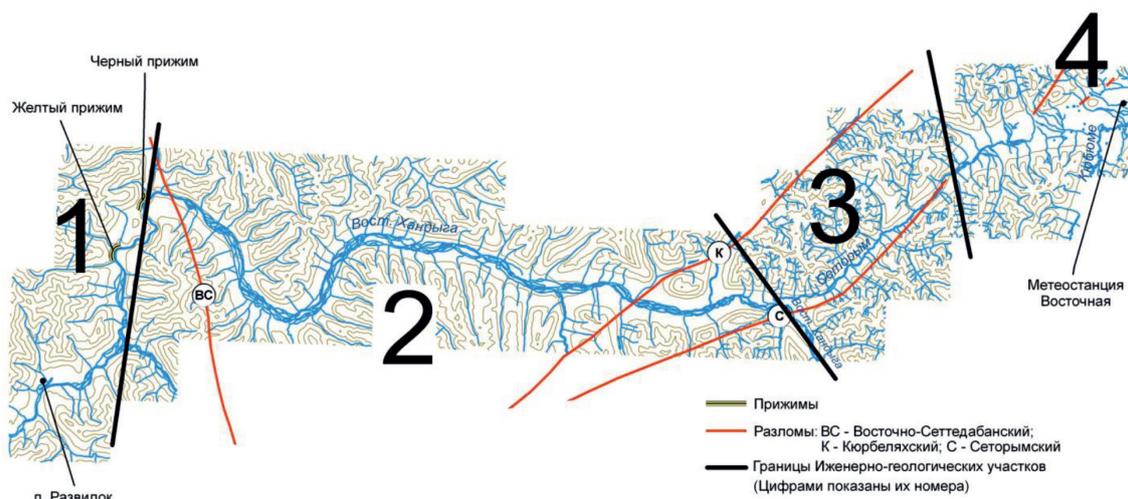


Рис. 2. Схема эталонных инженерно-геологических участков

В пределах опытного участка было выделено четыре самостоятельных эталонных участка, различающихся особенностями рельефа и экзогенно-геологическими проявлениями (рис. 2).

*Первый участок* приурочен к восточному крылу хр. Сетте-Дабан. Протяженность участка 31 км – от пос. Развилок (600-й км трассы) – до впадения р. Некунья – правого притока р. Восточная Хандыга (631 км). Участок характеризуется глубоко расчлененным рельефом и опасными скальными стенками. Отдельные горные вершины здесь превышают днище долины на 800–1100 м. Гребни водоразделов извилисты и круты с абсолютными отметками – до 1800–1900 м и более [3].

На привершинных частях склонов распространены стенки (зеркала) скальных срывов с осыпными лотками, простирающимися в нижние части бортов долины. Они чередуются с участками отвесных скальных обрывов, приуроченных непосредственно к полотну автотрассы. Это так называемые Желтый и Черный прижимы, осложняющие движение по участку и в целом по трассе.

На шлейфах отложений обвалов и осыпей широкое распространение получили курумы, солифлюкция и мерзлотная сортировка каменного материала. Делювиальные шлейфы из мелкообломочного материала несут следы эрозионного расчленения.

Особая опасность на участке таится в обрывистых и нависающих склонах долины, обладающих значительной потенциальной энергией для развития гравитационных процессов – обвалов и осыпей.

*Второй участок* простирается от устья р. Некунья (632-й км трассы) до устья следующего крупного правого притока р. Сеторыма (662-й км). Его протяженность 30 км. Участок ограничен с запада и востока разрывными нарушениями Восточно-Сетте-Добанского и Сеторымского разломов. Здесь трасса проходит по пологой площадке плейстоценовой террасы высотой 10–20 м и шириной до 600 м, сложенной флювиогляциальными наносами. Площадка имеет незначительный уклон в направлении русла реки. Борт долины здесь приобретает сглаженные очертания. Преобладают длинные и разложитые склоны с руслами временных и постоянных водотоков имеющие значительные площади водосборов. На отдельных участках наблюдаются скальные выходы коренных пород в виде останцов которые поставляют каменный материал в потоки гравитационных отложения в виде обвальной и осыпной аккумуляции. Склоны большей частью террасированы с уклонами до 30°, изрезаны многочисленными промоинами водотоков. Выше тылового шва, в области распространения аргиллитов при крутизне склонов 45° распространены шлейфы осыпных отложений, нависающих над дном долины. Вершины водоразделов достигают 1800–2100 м, а их превышениями над дном долины до 1300 м.

*Третий участок* трассы имеет северо-восточное простирание и проходит непосредственно по зоне Сеторымского разлома (рис. 2). Его протяженность 18 км.

Первые пять километров (от 663 по 668 км трассы) проложены по площадке водноледниковой террасы высотой в 10–15 м и шириной 350–400 м. Местами на поверхность террасы выходят коренные породы. При приближении к главному водоразделу долина приобретает скалистые очертания с крутыми стенками и блоками останцёв, разбросанных по линии разлома. Ширина долины не превышает 500–600 м, в каньонообразном русле наблюдается обилие перекастов и аллювиальных пойменных террас. Гребни водоразделов воздымаются до отметок 2200–2300 м. Характерны тектонические уступы высотой в 15–25 м и каньонообразность русел притоков. При этом русла ручьев глубоко прорезают отложения аллювиальных конусов выноса. На участках аккумуляции обвальных, осыпных и делювиальных отложений имеет место развитие процессов курумообразования, мерзлотной сортировки отложений и солифлюкции.

*Четвертый участок* приурочен к Алдано-Индибирскому водоразделу с абс. отметками 1300–1350 м. Его протяженность 33 км (682–725 км трассы). Это верховья долин р. Сеторыма и р. Кобюме. В рельефе доминирует массивное среднегорье с выположенными формами древнего денудационного рельефа. Дно горных долин при ширине 3,5–4,5 км приобретает классический облик древних трогов и ледоемов. Преобладают увалистые и сглаженные формы рельефа. Моренные валы и зандры здесь чередуются с внутриморенными котловинами, маркированными цепочками озер и болот. Водоразделы с отметками в 2000–2500 м сглажены и уплощены. Гребни моренных валов превышают на 10–15 м днища долин водотоков. На участках развития техногенеза вдоль полотна трассы происходит таяние погребенных льдов, наледообразование и термокарстовые и суффозионные просадки. Мощность рыхлых отложений судя по горным выработкам не превышает 20 м.

*Многолетнемерзлые породы* характеризуются сплошным распространением по площади и разрезу. Талики преимущественно несквозные, распространены локально под руслами рек и под крупными озерами. В межгорных впадинах пойменный аллювий с синкриогенными жилами льда характеризуется объемной льдистостью 0,5–0,6, делювиально-солифлюкционные отложения пологих склонов и элювиально-делювиальных водораздельных поверхностей – 0,2–0,3.

На участках, лежащих не выше отметок порядка 1300 м, наблюдается своего рода

гомотермия, когда одна и та же температура горных пород может наблюдаться как вблизи уровня моря, так и на водоразделах горных гряд с отметкой в 1300 м.

Для этого же диапазона высот характерно наличие определенных пределов изменения температуры горных пород. Последние, как правило, не опускаются ниже  $-8^{\circ}$  и не поднимаются выше  $-4^{\circ}$ , то есть на любой высоте можно столкнуться с изменениями температуры горных пород в этом диапазоне [4].

Устойчивое понижение температуры горных пород с высотой отмечается только на участках, лежащих выше отметок 1200–1300 м, причем здесь температура горных пород отчетливо зависит также и от экспозиции склонов. На склонах северной ориентации температура горных пород ниже, чем на склонах южной на  $2-3^{\circ}$ .

Сопоставлениями результатов наблюдений за температурой воздуха с аналогичными данными по температуре грунтов было установлено, что даже на восточном склоне глубочайшая инверсия температуры воздуха в приземном слое не сказывается на тенденции изменения температуры горных пород, которая непрерывно понижается. Как показали исследования на геокриологической станции Сунтар-Хаята, понижение температуры горных пород с увеличением отметок местности обусловлено в первую очередь незначительной величиной радиационного баланса в высокогорной области ( $7,2$  ккал/см<sup>2</sup>год) по сравнению с низменностями ( $29,7$  ккал/см<sup>2</sup>год) за счет сильного излучения зимой, связанного с господством антициклональных режимов погоды и относительно небольшим поглощением тепла летом из-за сильного отражения и рассеяния радиации снегом, который к тому же лежит здесь большую часть года. Все это усугубляется интенсивным влагооборотом в почве летом в высокогорной области, где, несмотря на низкую температуру воздуха, благодаря обилию осадков (500–700 мм по сравнению с 150–200 мм в предгорьях) и сильным ветрам, испаряется влага в 2–3 раза больше, чем на низменностях у подошвы хребтов [5].

Наши наблюдения, выполненные, 14 июля 2013 г. в районе ГМС Восточная показали, что в горной выработке изолированной от воздействия внешних температур приземного воздуха специально построенным срубом из бревен мерзлые горные породы на глубине 1,75 м имели температуру –  $14^{\circ}\text{C}$ .



Рис. 3. Подтопление и разрушение полотна трассы «Колыма» во время июльского паводка 2013 г. (Эталонный участок 2)

Климат района формируется под влиянием Сибирского антициклона и отличается устойчивостью зимних холодов и относительно прохладным летом. Средняя температура воздуха в январе –  $-35\div-48^{\circ}\text{C}$ , – в июле –  $11\div 18^{\circ}\text{C}$ . Абсолютный максимум температуры воздуха  $29\text{--}38^{\circ}\text{C}$ , абсолютный минимум –  $-54\div-68^{\circ}\text{C}$ . Положительные температуры не превышают период в 140–160 дней. За период с 1966 по 2018 г., среднегодовая температура воздуха здесь составляет  $-12,1^{\circ}\text{C}$  при количестве жидких атмосферных осадков 350–400 мм, и величине снежного покрова 30–60 см.

Анализ многолетней изменчивости ходов температуры приземного воздуха и атмосферных осадков показал, что в районе опытного участка трассы, как и в целом на планете, отмечаются значительные аномалии в ходах метеоэлементов и направленный рост среднегодовой температуры. Согласно значениям линейных трендов рядов температуры в масштабах региона за последние десятилетия они составили: в Оймяконе  $-0,49^{\circ}\text{C}/10$  лет, в Томпо –  $0,38^{\circ}\text{C}/10$  лет, в Крест-Хальджае –  $0,51^{\circ}\text{C}/10$  лет, что более чем вдвое выше, чем на планете в целом. Так же, как и в случае со среднегодовой температурой воздуха, на всех метеостанциях отмечаются статистически значимые тренды повышения температуры воздуха за теплый период. Эти тренды составили: в Оймяконе –  $0,37^{\circ}\text{C}/10$  лет, в Томпо –  $0,28^{\circ}\text{C}/10$  лет, в Крест-Хальджае –  $0,35^{\circ}\text{C}/10$  лет. За холодный период года они составили: в Оймяконе –  $0,54^{\circ}\text{C}/10$  лет, в Томпо –  $0,39^{\circ}\text{C}/10$  лет, в Крест-Хальджае –  $0,58^{\circ}\text{C}/10$  лет, что свидетельствует о том, что зимнее потепление на указанных станциях на сегодня выше, чем летнее.

В режиме атмосферных осадков, как показали наши исследования, наблюдается

большая межгодовая и внутригодовая изменчивость. В среднем на теплый период года (май – сентябрь) приходится до 70% от годовой суммы осадков.

На фоне многолетней изменчивости осадков своей неординарностью выделяется июль 2013 г. Наиболее ярко это проявилось в Оймяконе и в Крест-Хальджае, где были установлены новые абсолютные рекорды июля. В Томпо сумма осадков оказалась близкой к рекордной [6].

Аномальные погодные условия июля 2013 г., в первую очередь по суммам выпавших атмосферных осадков, на территории Томпонского и Оймяконского районов многократно превысивших их месячную норму, создали критические условия для активизации негативных гидрологических (паводки) и мерзлотных процессов (термоэрозия, термосуффозия, солифлюкция, оползни). Последнее нашло отражение в инженерно-геологических обстановках сложившихся в это время на трассе.

Особенно ярко инженерно-геологические процессы проявились на втором эталонном участке, где водосборы длинных и разложистых склонов водоразделов аккумуляровали значительное количество атмосферных осадков зарождая мощные линейные потоки, сила которых, как показали наши исследования, способна разрушать не только инженерную защиту трассы, но и саму трассу (рис. 3).

### Заключение

Глубоко расчлененный рельеф изученной территории в сочетании с достаточно сложным тектоническим строением предопределяет активные проявления сейсмических и экзогенных геологических процессов гравитационного, флювиального и криогенного генезиса. Эти процессы на всем протяжении опытного участка

трассы способны в той или иной степени осложнять инженерно-геологическую обстановку, а с учетом происходящих изменений климата приводить к возникновению не только сложных, но и опасных в инженерно-геологическом и геоэкологическом отношении ситуаций [7]. Наибольшую опасность на сегодня представляют аномалии летних атмосферных осадков, способных создавать разрушительные паводковые волны. Выявленные положительные тренды температуры приземного воздуха пока еще компенсируются чрезвычайно низкими температурами горных пород и не могут оказывать существенного воздействия на динамику инженерно-геологических обстановок на трассе.

#### Список литературы / References

1. Поморцев О.А., Попов В.Ф., Рожин С.С. Землетрясения: ритмические основы долгосрочного прогноза (на примере Якутии) // Отечественная геология. 2011. № 6. С. 33–38.
2. Бондарик Г.К., Ярт Л.А. Инженерно-геологические изыскания. М., 2007. 418 с.
3. Оксман В.С., Третьяков М.Ф. Сунтарская система разломов: кинематическая и геодинамическая интерпретации // Отечественная геология. 2001. № 5. С. 52–55.
4. Oksman V.S., Tretyakov M.F. The Suntar fault system: kinematic and geodynamic interpretations // *Otechestvennaya geologiya*. 2001. № 5. P. 52–55 (in Russian).
5. Shumway R.H., Stoffer D.S. *Time Series Analysis and Its Application*. Dortmund: Springer, 2017. 562 p.
6. Becher M., Olid C., Klaminder J. Buried soil organic inclusions in non-sorted circles fields in northern Sweden: Age and palaeoclimatic context. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 2013. 111 p. DOI: 10.1002/jgrg.20016.
7. Bass R. *Stochastic processes*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2011. 390 p.

УДК 504.4:627.02

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВОДНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ДАЙВИНГА****Сирота Е.Н., Черунова И.В.***ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», филиал, Шахты,  
e-mail: i\_sch@mail.ru*

Статья содержит результаты исследований физических характеристик водной среды. Эти характеристики определяют исходные данные для информационной базы процесса проектирования защитного снаряжения для дайвинга. Определены особенности влияния воды на человека на глубине. Обозначены закономерности воздействия гидростатического давления на дайвера. Определены основные типы гидростатического давления, которые формируют различные условия дайвинга. Обоснованы функции воды как теплоизолятора для системы защитного снаряжения человека. Установлено, что, благодаря высокой удельной теплоемкости воды, суточные и сезонные колебания температур небольшие по сравнению с изменениями на суше. Океанические температурные колебания составляют несколько градусов, за исключением мелководья. Представлено, что на глубине менее 100 м для дайвинга колебания температуры в западной части океана в среднем находятся в границах от 5 до 28 °С. Температура и давление воды влияют на изменение теплопроводности. Они являются важными параметрами для проектирования снаряжения для дайвинга и определения граничных тепловых условий его эксплуатации в заданной акватории. Установлено, что по мере увеличения глубины, соленость воды уменьшается. Наибольшее снижение солёности наблюдается до глубины 75–80 м. Такие глубины часто характерны для дайвинга. Представлены значения плотности морской воды в мировом океане при возможных диапазонах солёности и температуры воды в водоёмах. Проведены аналитические исследования зависимости теплопроводности воды и водяного пара от температуры и давления с учетом критериев подводных погружений. Установлены средние значения температуры воды солёных и пресноводных водоёмов во время сезонного дайвинга. Установлена температура поверхности океана, которая меняется в зависимости от широты. Приведена среднегодовая температура в экваториальных водах для планирования дайвинга. Разработана температурная группировка условий для проектирования защитного снаряжения дайвинга. Систематизированы и представлены цифровые данные для информационного обеспечения автоматизированного проектирования защитного подводного снаряжения.

**Ключевые слова:** водоём, физические свойства воды, дайвинг, подводное снаряжение, акватория**STUDY OF THE PROPERTIES OF THE WATER ENVIRONMENT FOR DIVING****Sirota E.N., Cherunova I.V.***Don State Technical University, branch, Shakhty, e-mail: i\_sch@mail.ru*

The article contains the results of research on the physical characteristics of the water environment. These characteristics determine the initial data for designing protective equipment in diving. The features of the influence of water on a person in the depth of reservoirs are determined. The regularities of hydrostatic pressure influence on a person are indicated. The main types of hydrostatic pressure that form various diving conditions are determined. The functions of water for thermal insulation of human protective equipment are justified. It was found that, due to the high specific heat capacity of water, daily and seasonal changes in water temperature are small compared to changes on land. Temperature changes in the ocean are several degrees. The exception applies to shallow water. It is shown that at a depth of less than 100 meters, temperature fluctuations in the Western part of the ocean average from 5 to 28 °C. Water temperature and pressure affect the change in thermal conductivity. This is important for designing equipment and determining the boundary thermal conditions of its operation in the water area. It is established that with increasing depth of the reservoir, the salinity of the water decreases. The greatest decrease in salinity is observed up to a depth of 75-80 meters. Such depths are often typical for diving. The values of sea water density in the world ocean at different ranges of salinity and temperature of water in reservoirs are presented. Analytical studies of the dependence of the thermal conductivity of water and water vapor on temperature and pressure, taking into account the conditions of underwater dives, were carried out. The average values of the water temperature of salt and freshwater reservoirs during seasonal diving have been established. The temperature of the ocean surface is set, which varies depending on the latitude. The average annual temperature in Equatorial waters for diving planning is given. A grouping of temperature conditions for designing protective equipment in diving has been developed. digital data for information support of computer-aided design of protective underwater equipment has been Systematized and presented.

**Keywords:** reservoir, physical properties of water, diving, underwater equipment, water area

Проектирование типовых видов одежды в большинстве случаев опирается на приспособленность человека к жизни в воздушной среде. Необходимость пребывания человека в водной среде имеет особенности, вызванные физическими свойствами и эффектами, формируемыми водой на различной глубине. Это важно учесть при проектировании специальных видов одежды для дайвинга.

Цель исследования: установление данных информационной базы о характеристиках условий водной среды для компонентов систем автоматизированного проектирования специальных средств защиты человека под водой.

Материал и методы исследования, использованные в научном исследовании, опираются на методы систематизации, логического структурирования, критериального анализа, факторного анализа.

Физические свойства воды существенно отличаются от свойств воздушной среды. Вода, которая относится к состоянию химически чистой, содержит весовую долю 11,19% водорода и 88,81% кислорода [1]. Такая вода при наличии нормальных условий давления кипит при  $+100^{\circ}\text{C}$ . Фаза замерзания для такой воды отмечается при температуре  $0^{\circ}\text{C}$ . Наибольшая плотность относится к температуре  $+4^{\circ}\text{C}$ . Далее при понижении температуры ниже  $+4^{\circ}\text{C}$  объем воды увеличивается, а плотность воды уменьшается. В момент замерзания происходит резкое увеличение объема на 10% по отношению к объему жидкости [1, 2].

На различной глубине важнейшей характеристикой среды для подводных погружений является гидростатическое давление. При погружении ниже поверхности воды ощущается его давление на тело человека и вокруг него. С увеличением глубины сила подводного давления увеличивается [3]. Гидростатическим давлением называется усилие, приложенное столбом воды к поверхности равной площади [3]. Гидростатическое давление делится на абсолютное, весовое, избыточное, вакуум. Отличие заключается в разнице расположения точки отсчета. Абсолютное давление в жидкости включает в себя внешнее давление на жидкость и давление массы высоты столба жидкости [4].

#### Результаты исследования и их обсуждение

В целях проектирования защитного снаряжения для дайвинга необходимо учитывать, что сжимающее усилие направлено вниз. Изменение давления на  $10^4$  Па происходит при изменении глубины около 1 м. Таким образом, давление в океане варьируется от нуля (на поверхности) до  $10^8$  Па (самое глубокое).

При погружении в воду на дайвера давит сумма атмосферного и гидростатического давления. В табл. 1 представлено соотношение между глубиной водоёма и давлением воды, при использовании станции в северо-западной части Тихого океана в  $41^{\circ}53'$  с.ш.,  $146^{\circ}18'$  в.д. [5].

**Таблица 1**  
Соотношение между глубиной водоёма и давлением воды на примере северо-западной части Тихого океана

Давление, Па	Глубина, м
0	0
1000000	99
2000000	198
3000000	297
5000000	495
10000000	990
15000000	1453
20000000	1975
30000000	2956
40000000	3932
50000000	4904
60000000	5872

Однако представленные условия не характерны для большинства дайверов, так как погружения, как правило, выполняются на меньших глубинах и требуют дополнительной характеристики их физических условий.

При погружении в воду на человека (дайвера) давит сумма атмосферного и гидростатического давления. Физические характеристики водной среды на различных глубинах, типичных для распространенного дайвинга, представлены в табл. 2 [5, 6].

Наиболее важными характеристиками морской воды, совместно влияющими на ее плотность, являются температура и соленость [5, 7].

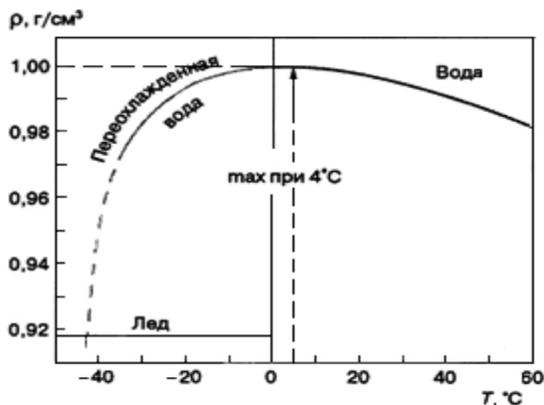
**Таблица 2**  
Глубина океана и давление воды для типичных глубин дайвинга

Глубина, м	Атмосфера*	Гидростатическое давление, кПа	Давление окружающей среды, кПа
0	1	0,000	101,325
10	2	101,325	202,650
20	3	202,650	303,975
30	4	303,975	405,300
40	5	405,300	506,625
50	6	506,625	607,950
60	7	607,950	709,275

Примечание. \*1 атмосфера = 101,325 кПа.

Температура морской воды на поверхности моря зависит от обмена теплом, полученным от солнца, и излучения земель. Поскольку нагревание планеты протекает неравномерно, температура поверхностного слоя океана меняется в зависимости от широты.

Теплоемкость воды существенно выше теплоемкости воздуха, но показатель её удельной теплоемкости меняется с изменением температуры и плотности воды. На рисунке представлено изменение плотности при повышении или понижении температуры воды в водоёме [8].



*Зависимость плотности воды от температуры*

Вода отличается теплопроводностью, которая делает ее неплохим теплоизолятором для условий дайвинга. За счет этого передача тепла в водной среде происходит в основном за счет смешивания слоев воды, за счет конвекции [1, 2]. Теплопроводность воды зависит от температуры. Для химически чистой воды коэффициент теплопроводности при температуре 0°C равен 0,00112 кал/см<sup>2</sup>·сек·град, при температуре 20°C равен 0,00143 кал/см<sup>2</sup>·сек·град [1].

Благодаря высокой удельной теплоемкости воды, суточные и сезонные колебания температур сравнительно невелики по сравнению с изменениями на суше, океанические температурные колебания составляют порядка нескольких градусов, за исключением мелководья.

На основе проведенных исследований вертикальных разрезов, показывающих среднее распределение температуры в океане [7], было установлено, что на глубине до 100 м колебания изменения температуры в западной части океана в среднем находятся в границах от 5 до 28°C, что является важными параметрами для проектирования

снаряжения для дайвинга и определения граничных тепловых условий его эксплуатации в заданной акватории.

Следующим показателем, влияющим на плотность воды, является соленость [7, 9]. Соленость верхнего слоя морской воды главным образом зависит от испарения и осадков, также на нее влияет образование и таяние морского льда, впадающие реки, еще одним фактором, влияющим на соленость, является температура воды (более теплая вода испаряется быстрее). В результате, наибольшие засоления обнаруживаются в субтропических регионах, от 20 до 30°C широты Севера и Юга, где испарение интенсивное, а количество осадков минимально [7]. По мере увеличения глубины, соленость воды уменьшается, при этом наиболее заметное снижение солености наблюдается до глубины 75–80 м. Такие глубины являются значительными, но достаточными для доступа открытого дайвинга даже в снаряжении (гидрокостюм) «мокрого» типа, которое в наибольшей степени подвержено влиянию гидростатического давления в соленой среде.

Показатель плотности воды важен, поскольку она определяет глубину, равномерное распределение водного участка, когда наименее плотный слой воды будет сверху, а плотнее всегда внизу. Плотность чистой воды при атмосферном давлении, без соли, при температуре 0°C составляет 1000 кг/м<sup>3</sup>. В открытом океане плотность воды на поверхности равна около 1021 кг/м<sup>3</sup>, и около 1070 кг/м<sup>3</sup> при давлении 10<sup>8</sup> Па [5].

В табл. 3 представлены значения плотности морской воды в любой точке мирового океана при всех возможных диапазонах солености и температуры [5].

Поскольку взаимосвязь температуры и солености морской воды определяется процессами, происходящими на границе воздух – море, можно утверждать, что характеристики плотности участка морской воды зависят от состояния поверхности моря. Температура морской воды варьирует в широких пределах (от –1 до 30°C), в то время как диапазон солености невелик (35,5 ± 2,0) [6, 7].

Свойства воды, такие как температура и давление, влияют на характер изменений теплопроводности. Эти параметры являются одними из определяющих условий для решения задач теплообмена человека (дайвера) с водной средой на глубине и применения для этого специальных материалов [9].

Таблица 3

Изменение плотности ( $\Delta\sigma_t$ ) с изменениями температуры ( $\Delta T$ ) и солёности ( $\Delta S$ ) как функции температуры и солёности

Солёность	0	20	35	40	0	20	35	40
Температура (°C)	$\Delta\sigma_t$ для $\Delta T = +1$ °C				$\Delta\sigma_t$ для $\Delta S = +0,5$			
30	-0,31	-0,33	-0,34	-0,35	0,38	0,37	0,37	0,38
20	-0,21	-0,24	-0,27	-0,27	0,38	0,38	0,38	0,38
10	-0,09	-0,14	-0,18	-0,18	0,39	0,39	0,39	0,39
0	+0,06	-0,01	-0,06	-0,07	0,41	0,4	0,4	0,4

Таблица 4

Средняя температура воды солёных и пресноводных водоемов во время сезонного дайвинга

Солёные водоемы	Средняя температура воды в сезон погружений, °C	
Юг Красного моря	27,0	
Галапагосские острова (Тихий океан)	23,0	
Тенериф (Атлантический океан)	22,0	
остров Каталина	19,0	
Большой барьерный риф	27,5	
Мальдивы	29,0	
Палау (Тихий океан)	20,0	
Сипадан	29,0	
Тао	28,0	
Юкаган	26,0	
Баренцево море	8,0	
Мальта (Средиземное море)	22,5	
Пресноводные водоемы	поздняя весна, лето, ранняя осень, °C	поздняя осень, зима, ранняя весна, °C
р. Верховье Волги	18,0	10,0
р. Волга (р-н Астрахани)	25,0	7,0
р. Дон	21,0	10,0
р. Ока	17,0	1,0
о. Ладожское	17,0	1,0
Мраморный карьер (Карелия)	9,0	9,0
Финский залив	10,0	4,0

В рамках настоящей работы были проведены исследования зависимости теплопроводности воды и водяного пара от температуры и давления [10] с учетом критериев подводных погружений, для которых значение имеют водоёмы всех типов, включая не только моря, но и озера и реки. В результате систематизации полученных данных параметров и свойств водной среды в мировых водоёмах различного типа [11], установлены сводные температурные характеристики ориентированных на подводные погружения водоёмов в России и за рубежом, включая сведения, характерные для сезонных (наиболее востребованных) погружений в части туристического потока [12]. Установ-

лены средние значения температуры воды солёных и пресноводных водоемов во время сезонного дайвинга (табл. 4).

Таким образом, средние значения температуры воды для солёных водоемов в сезон погружений колеблются в интервале от 8 до 29 °C, пресных водоемов в зависимости от сезона погружений колеблются, в интервале от 9 до 25 °C в период весна-осень, в зимний – с 1 по 10 °C.

Водная среда отличается подвижностью. В зависимости от типа водного ресурса, перемещение воды в них происходит проточностью в реках, за счет воздействия температуры и ветра в озерах, а в морях и океанах на перемещение воды влияют приливы и отливы, также сильные течения

и штормы [1, 13]. В целом можно отметить, что температура поверхности океана меняется в зависимости от широты в диапазоне от  $-2$  до  $29$  °С, при этом среднегодовая температура  $26-28$  °С в экваториальных водах, около  $0$  °С [1, 13]. Исходя из этих данных, температурные условия погружений с учетом сезонов можно разделить на несколько температурных групп: 1 – группа – от  $0$  до  $10$  °С, 2 – группа – от  $10$  до  $20$  °С, 3 – группа – от  $20$  до  $30$  °С.

В результате проведенных исследований для проектирования специального снаряжения для дайвинга установлены основные параметры и свойства акваторий с учетом их географического, сезонного, глубинного факторов.

Установлены средние значения характеристик водной среды для дайвинга: средние значения гидростатического давления в зависимости от глубины погружения составляют от  $0$  до  $1000000$  Па. Температура воды в зависимости от глубины погружений составляет от  $0$  °С до  $29$  °С. Плотность воды зависит от температуры, давления и от солености. При этом параметры плотности водяного слоя могут колебаться от  $1000$  кг/м<sup>3</sup> до  $1070$  кг/м<sup>3</sup>.

### Заключение

Анализируя полученную информацию, можно сделать вывод, что условия подводных погружений относятся к категории высокой сложности, что требует особого внимания к способам и средствам обеспечения безопасности человека при выполнении различных задач под водой.

Установленные в результате проведенных исследований данные формируют информационную базу для компонентов систем автоматизированного проектирования специальных средств защиты человека под водой.

### Список литературы / References

1. Уразметов И.А. Гидрология рек. Казань: Изд. ТГГПУ, 2007. 95 с.
2. Копылова-Валова В.Д., Веницианов Е.В. Вода в природе, значение и свойства // Сорбционные и хроматографические процессы. 2012. Т. 12. № 5. С. 828–838.
3. Александров Д.В., Зубарев А.Ю., Исакова Л.Ю. Прикладная гидродинамика: учебное пособие для вузов М.: Изд. Юрайт, 2018. 109 с.
4. Доманский И.В., Некрасов В.А. Механика жидкости и газа. М.: Изд. Лань, 2018. 140 с.
5. Talley L.D., Pickard G.L., Emery W.J., Swift J.H. Descriptive Physical Oceanography (Sixth Edition). Chapter 3: Physical Properties of Seawater. 2011. P. 29–65. DOI:10.1016/B978-0-7506-4552-2.10003-4.
6. Energy in the ocean. Chapter 18: Temperature and Pressure. 2017. P.441–465. [Electronic resource]. URL: <https://docplayer.net/34393749-Unit-energy-in-the-ocean.html> (date of access: 20.12.2019).
7. Ocean Biogeochemistry. Lab. Lecture 3: Temperature, Salinity, Density and Ocean Circulation. 2018. [Electronic resource]. URL: [http://ocean.stanford.edu/courses/bomc/chem/lecture\\_03.pdf](http://ocean.stanford.edu/courses/bomc/chem/lecture_03.pdf) (date of access: 20.12.2019).
8. Шведов И.М. Сборник задач и упражнений по гидромеханике для практических занятий и самостоятельной работы. Часть I. Физические свойства жидкостей, гидростатическое давление при относительном равновесии. М.: МГГУ, 2008. 135 с.
9. Коринтели А.М., Лесникова Т.Ю., Сирота Е.Н. Физико-технические характеристики материалов для защитной спецодежды от водной среды // IV Национальная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная весна-2019: Технические науки». Шахты, 2019. С. 78–82.
10. Safarov J., Talibov M., Shahverdiyev A., Sirota E., Cherunova I., Zorer S., Hassel E. Thermophysical properties of thermal water resources. Chemie-Ingenieur-Technik. 2012. Vol. 84. № 8. P. 1415. DOI: 10.1002/cite.201250516.
11. Талыбов М.А., Сафаров Д.Т., Черунова И.В., Сирота Е.Н., Колесник С.А. Экспериментальные исследования для развития информационной базы минеральных вод // Инженерный вестник Дона. 2014. № 3 (30). [Электронный ресурс]. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2536](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2536) (дата обращения: 20.12.2019).
12. 10 лучших мест для дайвинга [Электронный ресурс]. URL: [http://www.turizm.ru/advice/best/best\\_diving.htm](http://www.turizm.ru/advice/best/best_diving.htm) (дата обращения: 20.12.2019).
13. Степановских А.С. Основные среды жизни. Экология. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 703 с.
14. Stepanovskih A.S. The basic medium of life. Ecology. M.: YUNITI-DANA, 2001. 703 p. (in Russian).

УДК 911.6:912.43:553.3/9(571.6)

**МИНЕРАЛЬНО-РЕСУРСНЫЕ РАЙОНЫ ТИХООКЕАНСКОЙ РОССИИ****Ткаченко Г.Г.***ФГБУН «Тихоокеанский институт географии» ДВО РАН, Владивосток,  
e-mail: tkatchenko-gri@mail.ru*

Статья посвящена изучению прибрежной зоны Тихоокеанской России (ПЗТР), которая отличается от других прибрежных территорий страны прежде всего своей удаленностью, а во-вторых – большими размерами. Рассматриваются сходства и различия минерально-ресурсных районов (МРР) ПЗТР, которые были выделены в результате районирования данной территории. Районирование произведено на основе выделения сочетаний месторождений минеральных ресурсов по восьми основным однородным минерально-ресурсным группам. В целях использования результатов минерально-ресурсного районирования в комплексных программах регионального развития оно проведено с учетом низового административного деления и рассматривает прибрежную территорию в составе 55 муниципальных образований (МО), имеющих выход к морю. Исходя из географического положения и характера сочетаний минеральных ресурсов МО было выделено 19 МРР. По своему территориальному составу они включают от 1 до 8 МО. Произведен анализ восьми основных показателей, характеризующих МРР с точки зрения их пространственного, геологического и социально-экономического значения. При рассмотрении каждого из таких показателей в зависимости от его благоприятности выделяются 3 группы МРР. Таким образом показаны лидеры, середники и аутсайдеры среди МРР. Особое значение имеют различия реального уровня вовлеченности минеральных ресурсов в экономические отношения МРР. Такие различия были рассмотрены с помощью показателя добычи минеральных ресурсов в абсолютном и относительном выражении. Показаны районные различия, а также то, что в целом добыча полезных ископаемых в ПЗТР хотя и занимает существенную долю в добывающей промышленности российского Дальнего Востока, все же значительно отстает даже от среднероссийского уровня, а фактически является слабо развитой. При этом достаточно слабо реализуются существующие возможности экономического роста на базе использования потенциала ресурсных преимуществ МРР.

**Ключевые слова:** минеральные ресурсы, месторождения, прибрежная зона, Тихоокеанская Россия, Дальний Восток, районирование территории, территориальные сочетания, минерально-ресурсный район

**MINERAL RESOURCE REGIONS OF PACIFIC RUSSIA****Tkachenko G.G.***Pacific Institute of Geography Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences, Vladivostok,  
e-mail: tkatchenko-gri@mail.ru*

The article is devoted to the study of the coastal zone of Pacific Russia (CZPR), which differs from other coastal territories of the country, first of all by its remoteness, and secondly-by its large size. The similarities and differences of mineral resource regions (MRR) of CZPR, which were allocated as a result of zoning of this territory, are considered. Zoning was carried out on the basis of allocation of combinations of mineral resources on 8 main homogeneous mineral resource groups. In order to use the results of mineral resource zoning in integrated regional development programs, it is carried out taking into account the grass-roots administrative division and considers the coastal territory as part of 55 municipalities with access to the sea. Based on the geographical location and nature of the combinations of mineral resources of the municipalities 19 MRR were allocated. According to their territorial composition, they include from 1 to 8 municipalities. The analysis of 8 main indicators characterizing MRR from the point of view of their spatial, geological and socio-economic importance is made. When considering each of these indicators, depending on its favorability, MRR are divided into 3 groups. Thus stand out leaders, middlemen and outsiders among MRR. Of particular importance are the differences in the real level of involvement of mineral resources in the economic relations of the MRR. Such differences were considered using the indicator of mineral resources production in absolute and relative terms. Regional differences are shown, as well as the fact that in general, mining in the CZPR, although it occupies a significant share in the mining industry of the Russian Far East, still lags far behind even the average Russian level, and in fact is poorly developed. At the same time, the existing opportunities for economic growth on the basis of using the potential of the resource advantages of the MRR are poorly realized.

**Keywords:** mineral resources, deposits, coastal zone, Pacific Russia, Far East, zoning, territorial combinations, mineral resource region

Прибрежная зона Тихоокеанской России (ПЗТР) отличается от других прибрежных территорий страны, прежде всего своей удаленностью, а во-вторых – размерами. В границах муниципальных образований (МО) имеющих выход к побережью это довольно большая территория даже по российским меркам, что подтверждается тем фактом, что площадь ПЗТР примерно равна территории Уральского федерального округа – третьего по величине среди федеральных

округов России, площадь которого в свою очередь составляет 10,62% от российской. Протяженность береговой линии ПЗТР составляет 17740 км. Население на данной территории насчитывает немногим более 2 млн человек, причем 58,5% от этого числа проживает в прибрежной зоне Приморского края. Таким образом, очевидно, что заселенность территории ПЗТР в значительной степени неоднородна в пределах от максимального уровня – в Приморском крае

до минимального – в Чукотском АО. Исходя из практически равнозначного показателя плотности населения на 1 км<sup>2</sup> (ПЗТР – 1,12, ДВ – 1,18) можно говорить о том, что в целом освоенность территории ПЗТР соответствует среднему уровню ДВ. В то же время на данной территории имеется богатый минерально-сырьевой потенциал, который еще недостаточно разведан и исследован. Изучение имеющегося минерально-ресурсного потенциала и выделение однородных минерально-ресурсных районов (МРР) по сочетанию имеющихся месторождений в процессе районирования является важным этапом в исследовании столь крупной по размеру, разнообразной во многих отношениях и важной для страны территории, как ПЗТР.

Цель исследования: на основе территориальных сочетаний месторождений минерального сырья ПЗТР выделить минерально-ресурсные районы и дать им характеристику по основным значимым показателям, определяющим их сходства и различия.

#### **Материалы и методы исследования**

В работе использованы данные, полученные в результате первого этапа районирования ПЗТР по сочетанию месторождений минеральных ресурсов [1]. Важной особенностью такого районирования является то, что оно учитывает низовое административное деление и рассматривает прибрежную территорию в составе 55 муниципальных образований (МО), имеющих выход к морю. В результате районирования было выделено четыре типа МО по сочетанию минеральных ресурсов. Принимая во внимание большое количество МО и достаточно сложный видовой состав ресурсов, в каждом типе было выделено от двух до четырех подтипов. МО каждого из четырех типов составили минерально-ресурсные подзоны ПЗТР. Для определения характеристики минерально-сырьевого потенциала каждого из МРР использованы основные пространственные, геологические и социально-экономические показатели. При рассмотрении каждого из таких показателей в зависимости от благоприятности его значения выделяются три группы МРР: лидеры, середники и аутсайдеры.

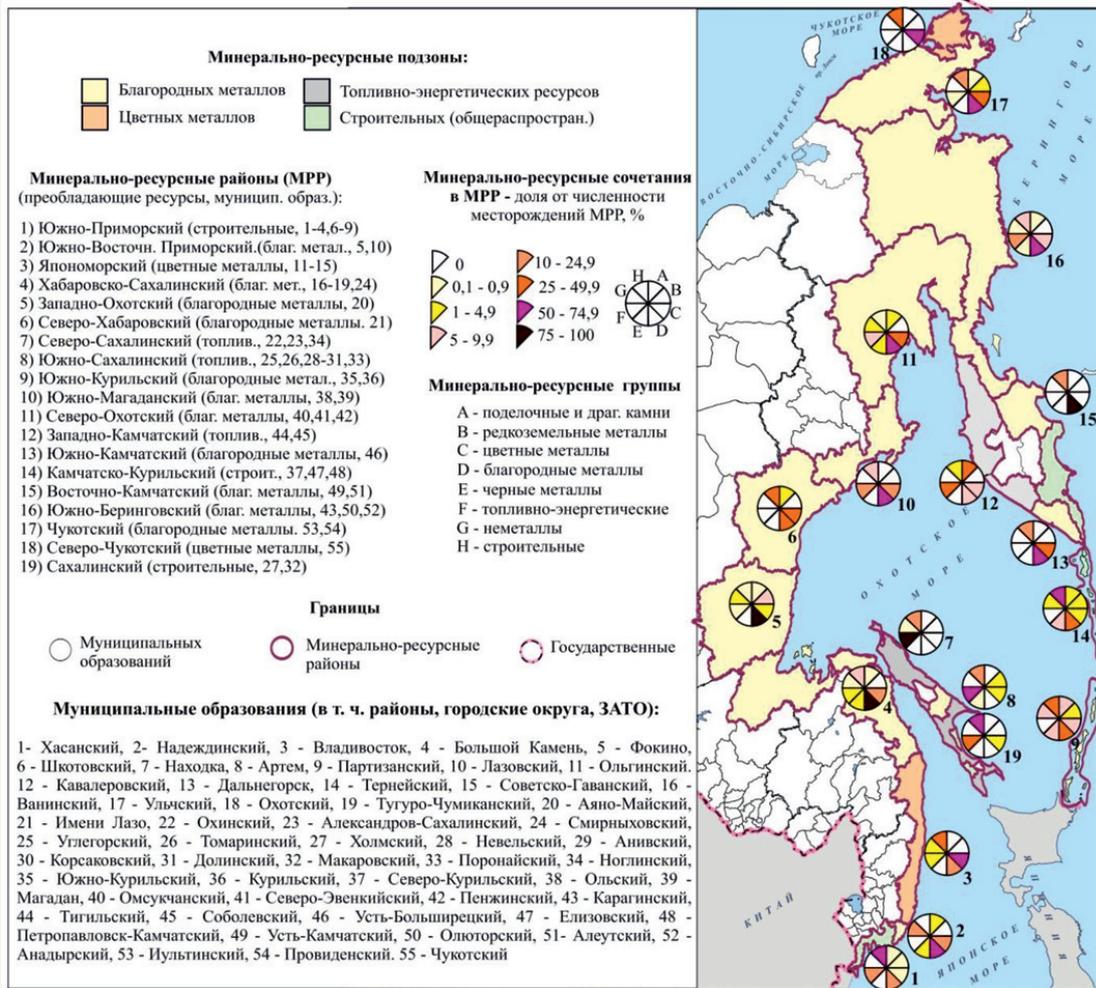
#### **Результаты исследования и их обсуждение**

На втором этапе районирования ПЗТР с учетом предложенной типологии МО по сочетанию минеральных ресурсов и принципа

их близкого географического положения выделено 19 МРР (рисунок, таблица). Каждому из них дано название, согласно его географическому положению. Территориально они состоят из одного или нескольких МО (до 8). В процессе природопользования необходимо учитывать их сходства и различия по важнейшим показателям, характеризующим состояние их ресурсов.

Особым показателем МРР является их территориальный состав в разрезе МО. Данный показатель имеет большое административное значение. По своему территориальному составу МРР достаточно разнообразны и большинство состоят из двух-трех МО. Четыре содержат только по одному МО и столько же МРР состоят из пяти-восьми МО. Величина МРР не зависит от количества МО в его составе, так как последние сильно отличаются между собой по площади (наиболее сильно такое различие заметно между южными и северными МО). Например, Южно-Приморский и Южно-Сахалинский – самые представительные по числу входящих в них МО – не являются самыми большим по территории среди МРР.

Такой показатель, как площадь территории, является достаточно важным, так как, теоретически, чем больше площадь, тем большее количество видов ресурсов и их объем может вмещать территория. Самыми большими являются три МРР площадь которых превышает 10% от ПЗТР. Суммарно на них приходится более половины территории (почти 56%) ПЗТР. Это такие районы, как самый большой по территории Южно-Беринговский, который занимает более 22% площади ПЗТР и состоит из трех МО. Второй по величине – Хабаровско-Сахалинский – состоит из пяти МО и занимает более 18% площади ПЗТР. Третий – Северо-Охотский МРР, состоящий из трех МО. На среднюю по площади территории (от 2,5 до 10%) группу из шести МРР приходится почти треть площади ПЗТР. При этом площадь территории более 5% от ПЗТР имеют только Западно-Охотский и Чукотский МРР. Больше половины из всех МРР – десять имеют площадь территории менее 2,5% от площади ПЗТР. Из них четыре – менее 1%. Всего на эту группу районов приходится менее 12% от площади ПЗТР. Таким образом, очевидно, что территория ПЗТР разделена на МРР довольно неравномерно, на что сильно влияет закономерность укрупнения МО с юга на север в связи с понижением в том же направлении заселенности и освоенности территории.



Минерально-ресурсные районы прибрежной зоны тихоокеанской России

На ДВ заселенность территории, в большой степени характеризующая также и ее освоенность, является одним из самых проблемных среди социально-экономических показателей. Данный показатель усугубляется менее благоприятным экономико-географическим положением отдаленных северо-западных районов перед южными районами. В девяти МРР плотность населения составляет менее 1 чел. на 1 км<sup>2</sup>. Значение данного показателя для ПЗТР – 1,12, что несколько ниже, чем по ДВ. В отношении ПЗТР можно говорить об удовлетворительном значении данного показателя только в двух МРР: Южно-Приморском – 76 и Сахалинском – 10,2 чел. на 1 км<sup>2</sup>, а также с большой долей условности в Юго-Восточном Приморском и Южно-Сахалинском. Эти районы имеют южное географическое положение и относительно развитую инфраструктуру. Низкая освоенность и за-

селенность остальных МРР препятствует активному освоению месторождений минеральных ресурсов. При разработке и освоении месторождений в большинстве МРР главным остается вахтовый метод, при котором экономическую целесообразность имеют лишь сравнительно крупные месторождения высоколиквидного сырья. Необходимым условием разработки других месторождений является применение современных технологий, при которых доля извлекаемого полезного вещества должна быть максимально возможной для обеспечения окупаемости добычи. Другим условием является совершенствование транспортной инфраструктуры. Два этих условия являются очень затратными, и, какой из них предпочесть, может решить только «большой инвестор» – частный либо в лице государства. Но на практике часто не обойтись от использования обоих условий одновременно.

Характеристика МРР по результатам районирования территории ПЗТР по сочетанию месторождений минерального сырья

№ рай-она	Название МРР района	Площадь, тыс км <sup>2</sup> /доля от БЗДВ, %	МО, входящие в район* (число МО)	Числен. месторожд./доля от БЗДВ, %	Плотн. месторожд. на 1000 км <sup>2</sup>	Кол-во видов ресурсов (**)	Основ. ресурсные группы*** и их доля в структуре месторожд. района, %	Население, тыс. чел. (плотность чел на 1 км <sup>2</sup> )	Добыча минерал. ресурсов, млн руб (на 1 км <sup>2</sup> )****
1	Южно-Приморский	14 / 0,7	1-4, 6-9 (8)	232 / 9,3	16,6	37 (6)	H-66,4; F-21,4; D-10,5	1062 (75,9)	1485 (0,11)
2	Юго-Восточный Приморский	4,98 / 0,27	5,10 (2)	24 / 1	4,8	10 (5)	D-55,2; G-24,2; C-13,8	44,5 (8,9)	0
3	Япономорский	58,7 / 3,2	11-15 (5)	166 / 6,7	2,8	26 (5)	C-62,3; H-24; D-10,3	126 (2,1)	3835 (0,07)
4	Хабаровско-Сахалинский	334,6 / 18,4	16-19, 24 (5)	470 / 18,7	1,4	33 (7)	D-77,1; C-12,1; H-6	69,1 (0,2)	9736 (0,03)
5	Западно-Охотский	167,7 / 9,2	20 (1)	279 / 11,2	1,7	16 (7)	D-87,3; B-6,5; C-3,2	1,9 (0,01)	5708 (0,03)
6	Северо-Хабаровский	32,5 / 1,8	21 (1)	48 / 1,9	1,5	13 (4)	D-41,7; H-31,2; C-25	40 (1,2)	169 (0,005)
7	Северо-Сахалинский	30,9 / 1,7	22, 23, 34 (3)	156 / 6,2	5	16 (3)	F-78,2; H-21,2	44,6 (1,4)	302226 (9,8)
8	Южно-Сахалинский	23,6 / 1,3	25, 26, 28-31, 33 (7)	161 / 6,4	6,8	26 (5)	F-72,1; H-24,7	147,6 (6,3)	83077 (3,52)
9	Южно-Курильский	7 / 0,4	35, 36 (2)	39 / 1,6	5,6	11 (7)	D-48,8; H-25,6; G-7,7	18,3 (2,6)	0
10	Южно-Магаданский	77 / 4,2	38, 39 (2)	17 / 0,7	0,22	7 (4)	D-55,5; F-22,2; C-16,7	108,3 (1,4)	130 (0,002)
11	Северо-Охотский	278,5 / 15,3	40-42 (3)	308 / 12,3	1,1	21 (7)	D-61,4; C-26; F-5,8	8,9 (0,03)	14630 (0,05)
12	Западно-Камчатский	84,6 / 4,6	44, 45 (2)	42 / 1,7	0,5	11 (5)	F-45,3; A-35,7; C/D-7,1	8,9 (0,1)	479 (0,01)
13	Южно-Камчатский	20,6 / 1,1	46 (1)	13 / 0,5	0,63	4 (3)	D-53,8; C-30,8; H-15,4	7,4 (0,4)	0
14	Камчатско-Курильский	44,9 / 2,5	37, 47, 48 (3)	73 / 2,9	1,6	22 (7)	H-52; D-35,6; A-2,7	269,9 (6)	644 (0,01)
15	Восточно-Камчатский	42,3 / 2,3	49, 51 (2)	11 / 0,4	0,24	4 (2)	D-80; H-20	10,3 (0,2)	8 (0)
16	Южно-Беринговский	400,9 / 22,2	43, 50, 52 (3)	223 / 8,9	0,56	22 (7)	D-71,4; F-14,8; C-6,3	15,7 (0,04)	2771 (0,01)
17	Чукотский	162 / 8,9	53, 54 (2)	204 / 8,2	1,3	20 (6)	D-52,4; C-33,3; H-12,3	8,8 (0,05)	1284 (0,01)
18	Северо-Чукотский	30,7 / 1,7	55 (1)	5 / 0,2	0,16	4 (2)	C-60; H-40	4 (0,1)	0
19	Сахалинский	4,4 / 0,2	27, 32 (2)	29 / 1,2	6,6	14 (2)	H-69; F-27,6; C-3,4	45 (10,2)	123 (0,03)
	ВСЕГО БЗТР	1820 / 100	(55)	2500 / 100	1,37	97	D-48,5; H-17,2; F-15,1; C-14,8; A-1,5	2041,2 (1,12)	426305 (0,234)

Примечание: \* номер МО соответствует номеру МО на рисунке); \*\* количество минерально-ресурсных групп; \*\*\* обозначение ресурсных групп дано на рисунке; \*\*\*\* авторская оценка на 2011 г. По три максимальных значения по каждому из показателей выделены жирным шрифтом, минимальных – курсивом. Составлено по: [2-6].

Показатель распределения численности месторождений по МРР зависит от многих факторов. Это и естественные геологические условия территории, ее масштаб, геологическая изученность, социально-экономическая освоенность, степень востребованности определенных видов ресурсов в данный исторический период времени как внутри страны, так и за ее пределами. Важно рассматривать и фактор перспективного развития, как и многие другие. В настоящее время численность месторождений по ПЗТР в среднем на каждый МРР составляет около 130. Дифференциация численности месторождений МРР довольно высока. Можно выделить группу МРР, где значение данного показателя превышает 10% от ПЗТР. К ней относится самый большой по численности месторождений Хабаровско-Сахалинский МРР, где насчитывается 470 месторождений, что составляет 18,7% от месторождений ПЗТР. В эту группу также входят Северо-Охотский и Западно-Охотский МРР, доля которых составляет соответственно 12,3 и 11,2%. Таким образом, суммарная доля месторождений по этим трем МРР превышает 42%. Средняя группа, куда входит большинство МРР, имеет значение по данному показателю в пределах от 1 до 10%. Причем шесть МРР имеют значения менее 5 и столько же более 5%. Всего на долю МРР второй группы приходится около 56% месторождений. В группу с наименьшей численностью месторождений входят четыре МРР: Южно-Камчатский, Восточно-Камчатский, Южно-Магаданский и Северо-Чукотский. Их суммарная доля не превышает 2% от численности месторождений ПЗТР.

Показатель численности месторождений всегда целесообразно рассматривать вместе с показателем плотности на единицу территории. В данном случае значение плотности месторождений рассчитаны на 1000 км<sup>2</sup> территории. Для ПЗТР значение данного показателя составляет 1,37. Несмотря на то, что это достаточно низкое значение даже по дальневосточным меркам, некоторые МРР имеют сравнительно приемлемую плотность месторождений для развития на их территории соответствующей для их эксплуатации инфраструктуры. В группу с наиболее благоприятными значениями (более 5) данного показателя можно отнести, прежде всего, Южно-Приморский МРР, который имеет наивысшую плотность месторождений – 16,6, также Южно-Сахалинский, Сахалинский, Южно-

Курильский и Северо-Сахалинский МРР. Нетрудно заметить, все эти МРР имеют южное географическое положение и сравнительно малую территорию. Во вторую группу входят шесть МРР со значением показателя плотности месторождений выше среднего. И в третью группу входят восемь МРР со значением данного показателя ниже среднего. По своему географическому положению это самые северные территории ПЗТР. Самая низкая плотность месторождений в Северо-Чукотском – самом северном и отдаленном МРР.

Для определения структурных особенностей сочетаний месторождений минеральных ресурсов в ПЗТР и для характеристики устойчивости принадлежности МРР к определенной минерально-ресурсной подзоне используется показатель отражающий долю определяющей ресурсной группы в структуре месторождений МРР. Можно выделить шесть МРР, где значение данного показателя более 70%. Западно-Охотский имеет максимальное значение данного показателя (по благородным металлам) среди всех МРР – 87%. Среди других МРР с высокой долей определяющей ресурсной группы в структуре месторождений можно выделить такие как: Восточно-Камчатский – 80%, Северо-Сахалинский – 78%, Хабаровско-Сахалинский – 77,1% и другие (таблица). Еще в десяти МРР значение данного показателя больше 50%. Из них в пяти МРР оно находится в пределах от 50 до 60, а еще в пяти МРР в пределах от 60 до 70%. Но есть также и такие МРР, где данный показатель не превышает 50%. Это Южно-Курильский, Западно-Камчатский и Северо-Хабаровский МРР.

Показатель количества видов ресурсов имеющихся на данной территории позволяет оценить потенциальное многообразие сочетаний ресурсов в МРР ПЗТР. Разнообразие представленных минеральных ресурсов в месторождениях (в качестве основного ресурса месторождения, попутные виды сырья не учитывались) ПЗТР довольно велико и составляет почти 100 видов сырья. При этом более половины из них не представлено ни в одном из МРР. Это говорит о высокой степени территориального расщепления месторождений минерального сырья в ПЗТР. Наибольшее количество видов минерального сырья характерно для территории Южно-Приморского – 37, а также Япономорского и Южно-Сахалинского МРР. В шести МРР разведаны месторождения, в которых насчитывается от 20 до 29 видов сырья. Еще в семи МРР

известны месторождения с 11–19 видами минеральных ресурсов. Наиболее бедные по количеству ресурсов (менее 10): Южно-Магаданский, Южно-Камчатский, Восточно-Камчатский и Северо-Чукотский МРР характеризуются также неблагоприятным географическим положением и низкой плотностью населения.

Большое значение для характеристики минерально-ресурсных сочетаний также имеет показатель количества минерально-ресурсных сырьевых групп в структуре месторождений каждого из МРР. Чем более разнообразен в видовом отношении минерально-ресурсный потенциал МРР, тем большее число ресурсных групп можно в нем выделить. Можно отметить, что нет таких МРР, где были бы представлены месторождения всех восьми ресурсных групп встречающихся на территории ПЗТР. Максимальное число ресурсных групп – 7 представлено в шести МРР (таблица). В ПЗТР самой многочисленной по количеству ресурсных групп в видовой структуре месторождений является та группа МРР, где можно выделить от 4 до 6 ресурсных групп. В нее входят восемь районов. Можно отметить и ряд МРР, где есть только 2–3 ресурсные группы. Данные МРР можно считать самыми бедными по разнообразию сочетаний. К ним относятся: Восточно-Камчатский, Северо-Чукотский, Сахалинский, Северо-Сахалинский и Южно-Камчатский.

Все рассмотренные выше показатели характеризуют МРР с точки зрения сочетания минерально-ресурсных особенностей относительно ПЗТР в целом, что является характеристикой потенциального использования минеральных ресурсов согласно особенностям районирования территории. Но целесообразно также рассмотреть и различия реального уровня вовлеченности минеральных ресурсов в экономические отношения выделенных нами в результате районирования МРР. Рассмотрим такие различия с помощью показателя добычи минеральных ресурсов в абсолютном и относительном выражении.

В абсолютном выражении данный показатель определяет стоимость добычи ресурсов. В последнее время статистическая информация по добыче минеральных ресурсов не публикуются в целях обеспечения конфиденциальности первичных статистических данных в соответствии с Федеральным законом от 29.11.07 № 282-ФЗ «Об официальном статистическом учете и системе государственной статистики в Российской

Федерации» (ст. 4, п. 5; ст. 9, п. 1). В связи с этим, нельзя точно определить стоимость добычи минеральных ресурсов в разрезе МО за последнее время, но мы приводим авторские оценки по состоянию на 2011 г. (таблица). Так, по нашим оценкам с большим отрывом от других районов, стоимость извлечения минеральных ресурсов из недр приходится на Северо-Сахалинский (где непосредственно осуществляется добыча с шельфа) и Южно-Сахалинский МРР. Более чем в 5 раз последнему уступает Северо-Охотский, в 8,5 раз – Хабаровско-Сахалинский, где добываются благородные металлы и в 21,6 раз – Япономорский, где идет добыча цветных металлов. Стоимость добычи в других МРР значительно ниже, а есть и такие, где минеральные ресурсы не добывались. В целом по нашим оценкам на 2011 г. доля добычи полезных ископаемых на территории ПЗТР составила 44–45% от дальневосточного уровня, что сравнительно много, ведь ее площадь составляла только 29,5% от площади ДВ.

В относительном выражении данный показатель позволяет определить стоимость добычи на 1 км<sup>2</sup>, что особенно важно, учитывая неоднородные размеры территории МРР. Таким образом, можно получить более точную характеристику вовлеченности территории МРР в процесс экономической деятельности. Так в среднем на территории ПЗТР добыча полезных ископаемых составила 0,234 млн руб на 1 км<sup>2</sup>, что в 3,3 раза больше, чем в среднем по ДВ, но в 2 раза меньше среднероссийского уровня. Добыча минеральных ресурсов только в трех МРР превышала 0,1 млн руб на 1 км<sup>2</sup>, в двенадцати была менее 0,1 млн на 1 км<sup>2</sup>, а в четырех не осуществлялась совсем. Исходя из этого, очевидно, что добыча полезных ископаемых ПЗТР хотя и занимает существенную долю в добывающей промышленности ДВ, все же значительно отстает даже от среднероссийского уровня, фактически является слабо развитой (даже с учетом сахалинских нефтегазовых проектов), что нельзя признать удовлетворительным, учитывая существенный минерально-ресурсный потенциал ПЗТР.

### Заключение

На Дальнем Востоке освоение природных ресурсов всегда было одной из важнейших задач регионального развития [7]. В то же время прибрежная территория (главным образом ее южная часть) рассматривалась как перспективное место заселения и освоения [8]. Но заселенность и освоение

ность ПЗТР все еще далеки от необходимых критериев устойчивого социально-экономического развития. В целях использования результатов минерально-ресурсного районирования в комплексных программах регионального развития оно проведено с учетом административных границ МО. Как выявил анализ, потенциальные возможности минерально-сырьевой базы, которые отражены в виде характеристики ряда важнейших показателей МРР в процессе районирования территории на принципах минерально-ресурсных сочетаний, практически реализуются на довольно скромном уровне. При этом, несомненно, упускаются возможности экономического роста на базе использования преимуществ МРР их минерально-ресурсных сочетаний. Если реализация проектов по освоению минеральных ресурсов будет проходить по схеме продажи сырья без его переработки в конечный продукт или полуфабрикаты, то это не будет способствовать эффективности использования минеральных ресурсов и самодостаточности социально-экономического развития как ДВ в целом, так и его прибрежной зоны. Особенно велика потребность в инвестициях (как государственных, так и частных), в геологические работы и в строительство горнодобывающих и перерабатывающих предприятий. В то же время роль и обязанность транспортно-логистического обеспечения, предоставление возможных налоговых преференций и контроль над соблюдением законодательства и интересов местного населения всегда следует сохранять за государством.

*Результаты исследований получены в рамках государственного задания Минобрнауки РФ (тема «Географические и геополитические факторы в инерционности, динамике и развитии разноранговых территориальных структур хозяйства и расселения населения Тихоокеанской России», № АААА-А16-116110810013-5. Раздел 1).*

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-80006.*

## Список литературы / References

1. Ткаченко Г.Г. Районирование прибрежной территории Тихоокеанской России по сочетанию минеральных ресурсов // *Успехи современного естествознания*. 2019. № 12–2. С. 339–346. DOI: 10.17513/use.37311.
2. Tkachenko G.G. Zoning of the coastal territory of Pacific Russia by combination of mineral resources // *Advances in current natural sciences*. 2019. № 12–2. P. 339–346 (in Russian).
3. Регионы России. Социально-экономические показатели. Статистический сборник. М.: Росстат, 2018. 1162 с.
4. Region of Russia. Socio-economic indicators. Statistical book. M.: Rosstat, 2018. 1162 p. (in Russian).
5. Объекты учета государственного кадастра месторождений. Федеральное агентство по недропользованию Роснедра. РОСГЕОЛФОНД. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rfgf.ru/gkm/> (дата обращения: 24.12.2019).
6. Objects of accounting of the state cadaster of deposits. Federal'noe agentstvo po nedropol'zovaniyu Rosnedra. ROSGEOFOND. [Electronic resource]. URL: <http://www.rfgf.ru/gkm/> (date of access: 24.12.2019) (in Russian).
7. Приморский край. Основные показатели деятельности городских округов и муниципальных районов. Статистический ежегодник. Владивосток: Приморскстат, 2015. 257 с.
8. Primorsky Krai. Main performance indicators of urban districts and municipal districts. Statistical Yearbook. Vladivostok: Primorskstat, 2015. 257 p. (in Russian).
9. Городские округа и муниципальные районы Хабаровского края. Основные социально-экономические показатели. Статистический сборник. Хабаровск: Хабаровскстат, 2014. 220 с.
10. Urban districts and municipal districts of the Khabarovsk territory. Main socio-economic indicators. Statistical book. Habarovsk: Habarovskstat, 2014. 220 p. (in Russian).
11. База данных показателей муниципальных образований по Сахалинской области. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst64/DBInet.cgi> (дата обращения: 12.12.2019).
12. Database of indicators of municipalities of the Sakhalin region. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki [Electronic resource]. URL: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst64/DBInet.cgi> (date of access: 12.12.2019) (in Russian).
13. Архипов Г.И. Минеральные ресурсы горнорудной промышленности Дальнего Востока. Стратегическая оценка возможности освоения. Хабаровск: Институт горного дела ДВО РАН, 2017. 820 с.
14. Arkhipov G.I. Mineral resources of the mining industry of the Far East. Strategic assessment of development opportunities. Habarovsk: Institut gornogo dela DVO RAN, 2017. 820 p. (in Russian).
15. Природопользование в прибрежной зоне: (Проблемы управления на Дальнем Востоке России) / Под ред. И.С. Арзамасцева. Владивосток: Дальнаука, 2003. 251 с.
16. Nature management in the coastal zone: (Problems of management in the Far East of Russia) / Pod red. I.S. Arzamasceva. Vladivostok: Dal'nauka, 2003. 251 p. (in Russian).

УДК 551.799:502.6(261.24)

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ  
ДОННЫХ ПЕСЧАНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАЛИНИНГРАДСКОГО ЗАЛИВА****Чечко В.А., Бабаков А.Н., Топчая В.Ю.***ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова» Российской академии наук, Москва,  
e-mail: che-chko@mail.ru*

Донные отложения являются интегрирующим показателем условий седиментации и окружающей среды. Поэтому использование их литологических характеристик для оценки состояния водных экосистем и степени антропогенной нагрузки на них является вполне обоснованным. Особенно важными являются сведения о гранулометрическом составе осадков, т.е. о процентном содержании той или иной фракции. Именно от размерного состава осадков зависит их способность накапливать различные поллютанты. Поэтому особое значение в водоемах с интенсивным хозяйственным использованием имеет изучение песчаных отложений, как наименее подверженных такому накоплению. Они являются необходимым и наиболее доступным строительным материалом, удобными пастбищами и нерестилищами для рыб, участки их распространения наименее загрязнены и поэтому привлекательны как рекреационные объекты. В работе представлены результаты изучения 39 проб донных песчаных отложений, отобранных в восточной части Калининградского залива. На основании гранулометрического анализа составлена схема распределения песков. Показано, что они распространены вдоль берегов залива до глубин 2,5–3,0 м. В основном они представлены средними и мелкими песками. Наиболее распространенными песками являются мелкие (0,250–0,125 мм) пески. Это преимущественно современные, хорошо отмытые полевошпатово-кварцевые образования светло-серых оттенков. Содержание преобладающей фракции в их составе колеблется в диапазоне от 36 до 71 %, они также характеризуются хорошей сортированностью ( $S_o$  в среднем составляет 1,6) и отсутствием илистых и глинистых частиц. На поверхности дна в районе распространения средних песков повсеместно развита тонкая окисленная пленка, свидетельствующая о хорошей аэрации придонного слоя. Содержание  $CaCO_3$  составляет в песках в среднем около 1 %, а органического углерода около 0,5 %. Основным минералом песчаных отложений является кварц (75–85 %), а второстепенными компонентами – калиевые полевые шпаты, глауконит, гранаты, обломки пород.

**Ключевые слова:** Калининградский залив, донные отложения, гранулометрический состав**DISTRIBUTION AND GRAIN SIZE COMPOSITION OF BOTTOM SANDY  
SEDIMENTS OF THE KALININGRAD BAY****Chechko V.A., Babakov A.N., Topchaya V.Yu.***P.P. Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: che-chko@mail.ru*

Bottom sediments are an integrating indicator of sedimentation and environmental conditions. Therefore, the use of their lithological characteristics to assess the state of aquatic ecosystems and the degree of anthropogenic load on them is quite reasonable. Particularly important are the data on the granulometric composition of precipitation, i.e., on the percentage of a particular fraction. Precisely on the size composition of precipitation depends on their ability to accumulate various pollutants. Therefore, the study of sand deposits, as the least susceptible to such accumulation, is of particular importance in reservoirs with intensive economic use. They are the necessary and most affordable building material, convenient pastures and spawning grounds for fish, their distribution areas are the least polluted and, therefore, attractive as recreational facilities. The paper presents the results of the study of 39 samples of bottom sand deposits selected in the Eastern part of the Kaliningrad Bay. On the basis of the grain size analysis the scheme of distribution of sands is made. It is shown that they are distributed along the shores of the Bay to depths of 2.5–3.0 m. they are mainly represented by medium and fine sands. The most common sands are small (0.250–0.125 mm) sands. These are predominantly modern, well-washed feldspar-quartz formations of light gray shades. The content of the predominant fraction in their composition ranges from 36 to 71 %, they are also characterized by good sorting ( $S_o$  on average 1.6) and the absence of silty and clay particles. A thin oxidized film is everywhere developed on the bottom surface in the area of medium sand distribution, indicating a good aeration of the bottom layer. The content of  $CaCO_3$  in the sands averages about 1 %, and organic carbon about 0.5 %. The main mineral of sand deposits is quartz (75–85 %), and minor components are potassium feldspar, glauconite, pomegranates, rock fragments.

**Keywords:** Kaliningrad Bay, bottom sediments, grain size composition

Водные объекты с интенсивной хозяйственной деятельностью, расположенные в береговой зоне, динамично развивающейся и находящейся под сильным антропогенным прессом, требуют повышенного внимания ученых и исследователей. К таким объектам можно отнести и Вислинский залив, находящийся в юго-восточной ча-

сти Балтийского моря. Его северо-восточная половина находится под юрисдикцией России и называется Калининградским заливом (рис. 1). Это достаточно специфический природный водный объект, в котором происходит смешение и трансформация речных и морских вод, а также взвешенного осадочного материала под влиянием сгон-

но-нагонных явлений [1]. Основная доля речного стока приходится на р. Преголю, а морские воды понижаются в залив через Балтийский пролив.

Антропогенная нагрузка на экосистему Калининградского залива обусловлена рядом факторов. Прибрежная территория залива характеризуется высокой плотностью населения, здесь сосредоточено около 56% жителей Калининградской области. По акватории залива проложен глубоководный морской канал с круглогодичным функционированием и регулярным проведением дноуглубительных работ. На юго-восточном побережье расположен карьер по добыче песчано-гравийных смесей. В заливе ведется добыча рыбы, что сопряжено с активной деятельностью рыболовецких судов. Все это требует комплексных, междисциплинарных исследований всех компонент экосистемы залива.

Отдельный интерес при этом представляют донные отложения, являющиеся интегрирующим показателем условий седиментации и окружающей среды. Донные отложения – важнейший компонент экосистемы, субстанция, в которой происходит обмен веществом и энергией. Их физико-химический состав во многом определяет направление и скорость процессов как вторичного загрязнения, так и самоочищения. Литологические характеристики донных осадков могут быть использованы при

оценке состояния водных экосистем и степени антропогенной нагрузки на них [2–4]. Особенно важными являются сведения о гранулометрическом составе осадков, т.е. о процентном содержании той или иной фракции. Именно от размерного состава осадков зависит их способность накапливать различные поллютанты. Потенциальными накопителями загрязняющих веществ являются осадки с большой долей в их составе тонких, илистых частиц. Естественно, что вторичное загрязнение водной среды от песков будет значительно меньше, чем от илистых отложений [5].

Поэтому особое значение в водоемах с интенсивным хозяйственным использованием имеет изучение песчаных отложений, выяснение их размерных и вещественных характеристик, уточнение ареалов распространения. Именно песчаные отложения являются необходимым и наиболее доступным строительным материалом, удобными пастбищами и нерестилищами для рыб, участки их распространения наименее загрязнены и поэтому привлекательны с точки зрения их использования как рекреационных объектов.

Цель данной работы: на основе литературных данных и результатов, полученных в ходе полевых экспедиционных исследований определить ареалы распространения донных песчаных отложений в Калининградском заливе и выявить особенности их гранулометрического состава.

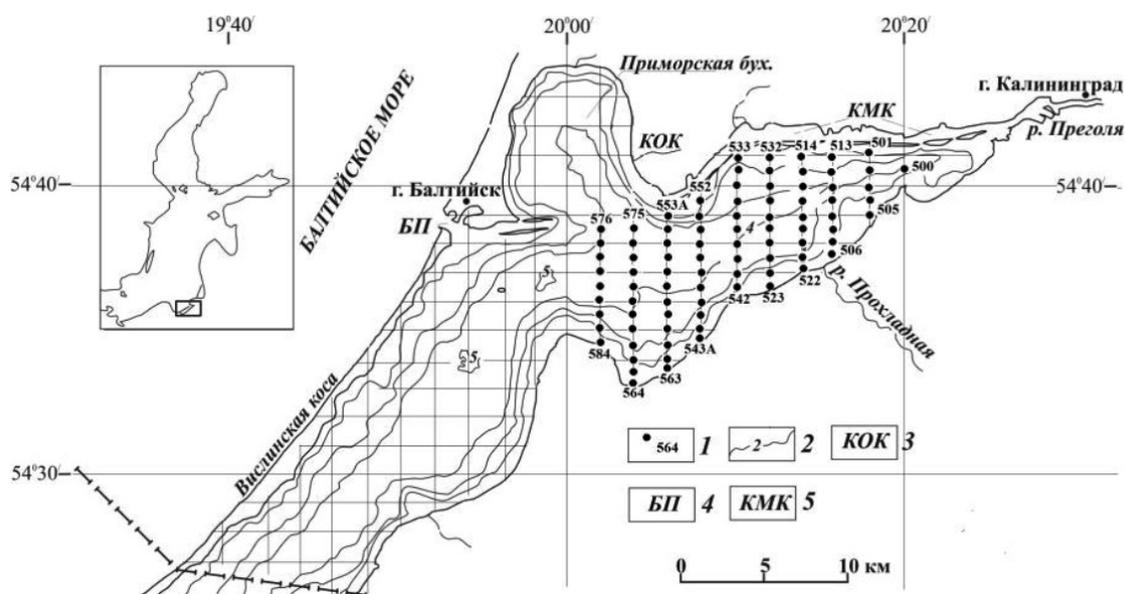


Рис. 1. Карта-схема расположения станций в акватории Калининградского залива: 1 – станция и ее номер, 2 – изобаты, м., 3 – Калининградский отводной канал, 4 – Балтийский пролив, 5 – Калининградский морской канал

### Материалы и методы исследования

Пробы донных отложений были отобраны во время литологической съёмки Калининградского залива в 2019 г. на 87 станциях (рис. 1). Они отбирались с помощью пробоотборника Петерсена из верхнего (0–7 см) слоя осадков. Первичная обработка полученных образцов донных осадков осуществлялась по методике, используемой сотрудниками Института океанологии РАН в морских геологических экспедициях [6]. В лабораторных условиях полученные образцы донных осадков были подвергнуты гранулометрическому анализу ситовым (фракции > 0,04 мм) и водно-механическим (фракции < 0,04 мм) методами [7]. На основании результатов гранулометрического анализа были выделены следующие размеры фракций: >4,0; 4,0 – 2,0; 2,0 – 1,0; 1,0 – 0,5; 0,5 – 0,250; 0,250 – 0,125; 0,125 – 0,063; 0,063 – 0,04; 0,04 – 0,016; 0,016 – 0,008; 0,008 – 0,004; 0,004 – 0,002; 0,002 – 0,001.

В соответствии с классификацией [8], пески были определены как фракция 2,0 – 0,063 мм, включающая пять подклассов: очень крупный песок (2,0 – 1,0 мм), крупный (1,0 – 0,5 мм), средний (0,5 – 0,25 мм), мелкий (0,250 – 0,125 мм) и очень мелкий (0,125 – 0,063 мм) песок. Установление таких размеров за нижний и верхний пределы песчаных частиц основано на исследовании скоростей осаждения частиц разной крупности в воде, способов переноса и их физических свойств, изученных многими учеными.

На основании результатов гранулометрического анализа графическим способом были рассчитаны медианный диаметр частиц (Md) и коэффициент сортированности (So). Согласно [9] в хорошо сортированных песках  $So < 2$ , в средне сортированных  $So = 2–3$ , в плохо сортированных  $So > 3$ .

Используя трехкомпонентную (песок – ил – глина) диаграмму Ф. Шепарда [10], учитывая медианный диаметр частиц, размер преобладающей фракции и ее процентное содержание в пробе, дополнительно были выделены литологические типы осадков – песок алевритовый и алеврит песчанистый.

### Результаты исследования и их обсуждение

Наиболее полное описание донных осадков Калининградского залива, основанное на материалах, собранных в 1992–1996 гг., дано в работе [11]. В ней, однако, с целью получения общей картины распределения осадков, авторы прибегли к серьезной ге-

нерализации в связи с несколько хаотичным расположением станций отбора проб, обусловленным решением ряда междисциплинарных задач, а также с достаточно растянутым во времени (около 5 лет) периодом сбора материала. К тому же типизация осадков была выполнена по десятичной системе, имеющей определенные недостатки, а песчаным отложениям в данной работе было уделено явно подчиненное внимание.

На поверхности дна Калининградского залива развиты современные донные осадки, которые являются продуктом осадкообразования, происходящего в настоящее время. В самом общем виде для распределения донных осадков характерно чередование участков песков, песчаных отложений различной степени заиления и илов различной дисперсности от берегов в сторону центральной, наиболее углубленной части залива. В генетическом отношении в Калининградском заливе на поверхности дна распространены терригенные осадочные образования с большим спектром размерности – валуны, гравий, галька, разнозернистые пески, алевриты и алевритово-пелитовые илы. Минимальными (около 1%) содержаниями карбоната кальция ( $CaCO_3$ ) отличаются песчаные отложения, максимальными (6–7%) – мелкоалевритовые илы. Подобная тенденция выявлена и при распределении органического углерода ( $C_{орг}$ ) в осадках. Минимальные (0,5%) содержания  $C_{орг}$  характерны для хорошо сортированных песков, максимальными значениями органического углерода (>10%) характеризуются алевритово-пелитовые илы, распространенные в юго-западной части Калининградского залива [12, 13]. Характерная особенность песчаных отложений – наличие на их поверхности тонкой окисленной пленки, свидетельствующей о хорошем перемешивании вод и отсутствии застойных явлений в местах их развития.

Характер распространения песчаного материала показывает, что максимальные его концентрации сосредоточены в узкой прибрежной полосе, что обусловлено, по видимому, высокой подвижностью всей водной толщи на мелководье и, как следствием, взмучиванием донных отложений с последующим выносом тонких частиц в более углубленные места (рис. 2). Полоса распространения песков ограничивается глубинами 0,8–3,0 м. Достаточно большой диапазон глубин залегания песчаных отложений объясняется расположением источников поступления песка, конфигурацией

беговой линии и в целом гидродинамическими особенностями конкретных участков залива. У южного побережья напротив устья р. Прохладной полоса песков заметно расширяется. Это можно объяснить особенностью геологического строения прилегающей к заливу территории, влиянием речного стока, а также открытостью акватории для преобладающих в регионе ветров западных и северо-западных румбов, вызывающих волнение и, как следствие, усиление процессов механической дифференциации осадочного материала.

Гранулометрический спектр песков (таблица) и их пространственное распределение варьируют довольно в широких пределах. Исключение составляют очень крупные (2,0 – 1,0 мм) и крупные (1,0 – 0,5 мм) пески. Как показали проведенные исследования, на акватории восточной части Калининградского залива они имеют исключительно локальное развитие.

Небольшое пятно крупного песчаного материала выявлено напротив устья р. Прохладной на глубинах 2,0 – 3,0 м.

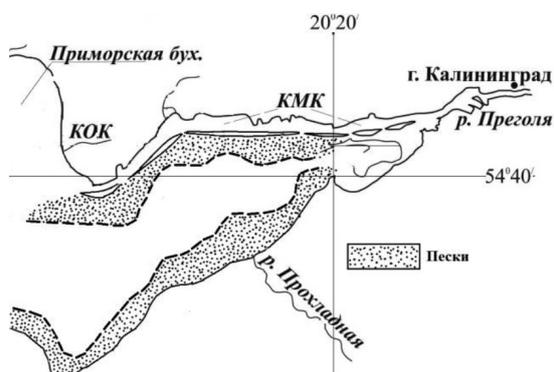


Рис. 2. Схема распределения донных песчаных отложений в восточной части Калининградского залива

По сравнению с крупными песками, среднезернистые пески ( $Md = 0,25 - 0,46$  мм) занимают достаточно существенные площади дна залива, особенно в юго-восточной прибрежной мелководной зоне. На этом участке распространены хорошо сортированные среднезернистые пески, генетически связанные с зандровыми полями прилегающей суши. Узкая полоса среднезернистых песков протягивается вдоль дамб, отделяющих морской канал от акватории залива. Среднезернистые пески характеризуются серыми, светло-серыми оттенками и по своим физическим свойствам близки к мелкозернистым пескам. Они также хорошо отмыты, од-

нородны и характеризуются очень хорошей сортированностью ( $S_o$  в среднем составляет 1,47). Фракция 0,5 – 0,25 мм в гранулометрическом составе является преобладающей, но ее содержание не очень высоко (36–60%). Основной примесью являются крупные песчаные частицы, доля которых может достигать 20–27%. Характерная особенность их состава – практически полное отсутствие более тонких компонентов (таблица).

На поверхности дна в районе распространения средних песков повсеместно развита тонкая окисленная пленка, свидетельствующая о хорошей аэрации придонного слоя. На всех станциях был обнаружен новый вселенец – Североамериканский солонатоводный двустворчатый моллюск *Rangia cuneata*, впервые зарегистрированный в Калининградском заливе в сентябре 2010 г. [14]. В составе средних песков содержится, как правило, значительная доля крупных обломков створок моллюсков и раковинного детрита. Основным минералом средних песков является кварц (75–85%), а второстепенными компонентами – калиевые полевые шпаты, глауконит, гранаты, обломки пород.

Наиболее распространенными песками являются мелкие (0,250 – 0,125 мм) пески. Это преимущественно современные, хорошо отмытые полевошпатово-кварцевые образования светло-серых оттенков. Содержание преобладающей фракции в их составе колеблется в диапазоне от 36 до 71%, они также характеризуются хорошей сортированностью ( $S_o$  в среднем составляет 1,6) и отсутствием илистых и глинистых частиц (таблица). Основной примесью в составе мелкозернистых песков выступают частицы очень мелких и средних песков (содержание последних в некоторых пробах достигает 40%), а также раковинный детрит. На мелких песках, как и на средних, также повсеместно развита окисленная пленка и обитает моллюск *Rangia cuneata*.

Очень мелкие пески не имеют широкого распространения, они встречаются в виде небольших по площади пятен вдоль северного побережья залива. Глубина их залегания варьирует в диапазоне глубин 2,5–3,0 м, т.е., как наиболее подвижные частицы в составе песков, они выносятся в углубленные участки с мелководья в результате механической дифференциации. Они характеризуются высоким содержанием фракции 0,125 – 0,063 мм, достигающей 80%, и очень хорошей сортированностью ( $S_o$  в среднем составляет 1,4). Основной примесью в составе очень мелких песков являются мел-

кие пески (20–23%), а содержание илстых и глинистых частиц, по сравнению с другими песчаными фракциями, достаточно велико и достигает 7–12%.

В сыром виде это слабоуплотненные осадки серых оттенков, которые при высыхании легко рассыпаются, так как содержат мало илстых частиц. Очень мелкие пески имеют полевошпатово-кварцевый и глауконитово-кварцевый состав, особенностью их является обогащенность тяжелыми ми-

нералами – ильменитом, амфиболами, эпидотом, гранатом, цирконом. В составе очень мелких песков встречаются в большом количестве целые створки раковин моллюсков, их осколки, раковинный детрит, а также живые двустворчатые моллюски *Rangia cuneata*. Пески алевритовые (содержание илстых частиц более 30%) имеют ограниченное распространение, они были выявлены на ст. 565 и 583 на глубинах 2,4 и 3,2 м у южного побережья залива.

Гранулометрический состав донных песчаных отложений восточной части Калининградского залива

Станция, №	Глуб., м	Содержание фракций (мм), %									Md	S <sub>0</sub>	Типы осадков
		>4,0	4–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,125	0,125–0,063	0,063–0,04	<0,04			
501	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	58,5	26,0	7,5	1,2	0,15	1,4	М.П.
502	2,8	1,0	2,0	12,6	27,3	36,4	19,6	0,6	0,1	0,0	0,46	1,7	С.П.
503	1,9	1,8	1,5	3,5	27,5	64,0	1,2	0,2	0,0	0,0	0,42	1,2	С.П.
504	2,5	1,5	2,0	4,2	24,5	41,5	22,0	9,2	0,1	0,0	0,33	1,7	С.П.
505	1,0	0,0	1,0	9,2	18,0	40,0	23,4	8,4	0,0	0,0	0,33	1,8	С.П.
506	1,0	5,0	3,5	8,0	20,5	29,0	15,0	18,5	0,5	0,0	0,36	2,2	С.П.
507	1,9	0,0	2,4	2,8	5,6	26,8	39,5	22,6	0,1	0,0	0,19	1,6	М.П.
512	2,5	0,0	0,0	0,2	3,0	43,2	52,5	0,5	0,5	0,0	0,24	1,4	М.П.
513	1,6	0,5	2,2	1,6	5,6	53,1	36,6	0,1	0,0	0,0	0,28	1,5	С.П.
514	0,4	1,7	2,0	2,5	28,0	60,0	4,0	1,0	0,1	0,0	0,43	1,4	С.П.
519	3,0	0,0	0,5	8,5	78,5	11,0	0,5	0,5	0,2	0,0	0,69	1,3	К.П.
521	2,4	0,0	1,8	39,0	30,4	2,2	8,0	17,3	1,0	0,0	0,8	2,4	К.П.
522	1,5	0,0	0,0	0,1	4,8	32,3	37,2	21,7	0,1	0,0	0,2	1,6	М.П.
523	1,0	0,0	0,0	0,2	1,2	56,2	33,0	9,4	0,2	0,0	0,27	1,5	С.П.
524	1,5	0,0	0,0	0,0	2,5	46,5	50,6	0,2	0,0	0,0	0,25	1,7	М.П.
525	1,7	0,0	0,0	0,0	1,0	45,5	52,6	0,2	0,0	0,0	0,25	1,6	М.П.
531	3,0	0,0	0,0	6,0	7,5	12,5	13,0	34,5	25,5	0,8	0,1	2,2	О.М.П.
532	2,8	0,0	0,0	4,0	7,0	13,0	20,0	44,5	11,5	0,0	0,12	1,8	О.М.П.
533	1,0	0,0	0,5	0,5	4,2	37,0	49,5	7,5	0,5	0,0	0,22	1,5	М.П.
533a	2,7	0,0	0,0	1,0	10,5	27,0	44,0	15,5	2,0	0,0	0,2	1,6	М.П.
541	1,5	0,0	0,0	0,3	3,5	37,2	58,0	0,3	0,0	0,0	0,19	1,6	М.П.
542	1,2	0,0	0,0	1,0	4,5	29,2	37,4	27,0	0,8	0,0	0,18	1,6	М.П.
543a	0,9	0,0	0,0	0,0	0,3	27,0	71,2	1,2	0,0	0,0	0,17	1,3	М.П.
543	1,0	0,0	0,0	0,0	0,2	28,0	70,0	1,0	0,0	0,0	0,19	1,3	М.П.
544	3,0	0,0	0,0	0,0	0,2	12,0	23,4	57,0	7,3	0,2	0,11	1,5	О.М.П.
550	3,2	0,0	0,0	0,1	1,0	2,6	20,0	66,0	9,6	0,0	0,10	1,4	О.М.П.
551	2,2	0,0	0,0	0,0	0,4	2,0	87,6	8,8	0,8	0,0	0,17	1,2	М.П.
552	1,0	0,0	0,0	0,0	0,6	36,5	57,5	5,5	0,2	0,0	0,21	1,4	М.П.
553A	1,0	0,0	0,0	0,0	0,5	22,5	53,5	23,3	0,2	0,0	0,17	1,4	М.П.
553	2,3	0,0	0,0	0,0	1,4	39,4	57,3	1,4	0,0	0,0	0,22	1,4	М.П.
562	0,9	0,0	0,0	0,0	0,2	51,4	48,0	0,2	0,0	0,0	0,26	1,4	С.П.
563	0,7	0,0	0,0	0,0	0,2	34,5	64,1	0,6	0,0	0,0	0,21	1,4	М.П.
564	0,9	0,0	0,0	0,0	1,8	52,4	38,2	7,0	0,3	0,0	0,27	1,5	С.П.
565	2,4	0,0	0,0	0,0	0,8	1,5	3,5	61,5	32,0	0,7	0,076	1,3	П.Ал.
574	3,8	0,0	0,0	0,0	0,8	2,5	9,5	80,0	7,0	0,2	0,09	1,2	О.М.П.
575	3,8	0,0	0,0	0,0	1,1	15,5	49,5	23,5	10,2	0,2	0,14	1,5	М.П.
576	3,5	0,0	0,0	0,0	1,1	13,0	52,5	24,5	8,2	0,2	0,15	1,5	М.П.
583	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	12,5	45,5	37,4	2,1	0,07	1,4	П.Ал.
584	1,1	0,0	0,0	0,0	0,6	2,3	73,5	22,8	0,6	0,0	0,16	1,3	М.П.

Примечание. \* К.П. – крупный песок; С.П. – средний песок; М.П. – мелкий песок; О.М.П. – очень мелкий песок; П.Ал – песок алевритовый.

### Заключение

В результате изучения донных песчаных отложений было выявлено, что они распространены вдоль северного и южного побережий в виде непрерывной узкой (1,5–2,0 км) полосы от уреза до глубины 2,5–3,0 м. Значительное расширение (до 2,5–3,0 км) этой полосы наблюдается у южного побережья напротив устья р. Прохладной, что, по-видимому, генетически связано с задровыми полями прилегающей суши. На поверхности песчаных отложений повсеместно развита окисленная пленка, свидетельствующая о хорошем перемешивании придонного слоя воды, обитает моллюск *Rangia cuneata*. Наибольшее развитие имеют средние (0,5 – 0,250 мм) и мелкие (0,250 – 0,125 мм) пески, которые хорошо отмыты и отличаются очень хорошей сортированностью (So колеблется в пределах 1,2–1,8).

В гранулометрическом составе донных осадков обнаруживается характерная для подобных водоемов закономерность: песчаный материал с незначительным содержанием более тонких частиц сосредоточен в прибрежной зоне. Основные закономерности распределения фракций песчаного материала объясняются гидродинамической активностью водных масс, конфигурацией берегов и составом осадочного материала основных источников питания. Проведенные исследования касались верхнего (0–7 см) слоя осадков, для оценки мощности песчаных отложений и определения их вертикального строения потребуются дополнительные исследования.

*Экспедиционные исследования и гранулометрический анализ проб донных осадков выполнялись при поддержке гранта РФФИ р\_а № 19-45-390013, анализ и интерпретация данных выполнялись в рамках госзадания ИО РАН (тема № 0149-2019-0013).*

### Список литературы / References

1. Чечко В.А., Чубаренко Б.В., Топчая В.Ю. Влияние природных и антропогенных факторов на формирование осадочной толщи Калининградского залива Балтийского моря // Известия КГТУ. 2018. № 48. С. 47–58.
2. Lisitsyn A.P. Arid sedimentation in the oceans and atmospheric particulate matter // Russian Geology and Geophysics. 2011. V. 52. № 10. P. 1398–1466.
3. Lisitsyn A.P. Modern ideas about sedimentation in oceans and seas. Oceans as a natural recorder of interaction of geospheres of the Earth // Mirovoy okean. T. 2. Fizika, khimiya i biologiya okeana. Osadkoobrazovaniye v okeane i vzaimodeystviye geosfer Zemli / Pod obshch. red. L.I. Lobkovskogo i R.I. Nigmatulina. M.: Nauchnyy mir, 2014. С. 331–571.
4. Windom H.L., Schropp S.J., Galder F.D., Ryan J.D., Smith R.G., Burney L.C., Lewis F.G., Rawlinson C.H. Natural trace metal concentrations in estuarine and coastal marine sediments of the southeastern United States. Environmental Sciences and Technology. 1989. V. 23. № 3. P. 314–320. DOI: 10.1021/es00180a008.
5. Фёдоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., Тамбиева Н.С., Андреев Ю.А., Михайленко О.А. Влияние гранулометрического состава донных отложений озера Байкал на распределение метана и сульфидной серы // Литология и полезные ископаемые. 2018. № 4S. С. 1–13. DOI: 10.1134/S0024497X19010026.
6. Федоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., Тамбиева Н.С., Андреев Ю.А., Михайленко О.А. Influence of granulometric composition of bottom sediments of lake Baikal on methane and sulfide sulfur distribution // Litologiya i poleznye iskopaemye. 2018. № 4S. P. 1–13 (in Russian).
7. Кравчишина М.Д. Взвешенное вещество Белого моря и его гранулометрический состав. М.: Наука, 2009. 264 с.
8. Kravchishina M.D. Suspended matter of the White Sea and its particle size distribution. M.: Nauka, 2009. 264 p. (in Russian).
9. Буданова Т.Е., Озмидов О.Р., Озмидов И.О. Современные методы изучения гранулометрического состава грунтов // Инженерные изыскания. 2013. № 8. С. 66–71.
10. Budanova T.E., Ozmidov O.R., Ozmidov I.O. Modern methods for studying the particle size distribution of soils // Inzhenerye izyskaniya. 2013. № 8. P. 66–71 (in Russian).
11. Wentworth C.K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. Journal of Geology. 1922. V. 30. № 5. P. 377–392.
12. Фролов В.Т. Литология. Кн. 2: Учеб. пособие. М.: Изд. МГУ, 1993. 432 с.
13. Frolov V.T. Lithology. Book 2: Uchebnoe posobie. M.: Izd. MGU, 1993. 432 p. (in Russian).
14. Kocheshkova O., Ezhova E., Dorokhov D., Dorokhova E. Benthic communities and habitats in the near shore zone of the Curonian Spit (the south-eastern part of the Baltic Sea). Baltica. 2014. V. 27. P. 45–54.
15. Chechko V.A., Blazchishin A.I. Bottom deposits of the Vistula Lagoon of the Baltic Sea. Baltica. 2002. Vol. 15. P. 13–22.
16. Чечко В.А. Особенности современных процессов осадкообразования в Вислинском и Куршском заливах // Система Балтийского моря / Ред. А.П. Лисицын. М.: Научный мир, 2017. С. 373–380.
17. Chechko V.A. Features of modern sedimentation processes in the Vistula and Curonian lagoons // Baltic Sea System / Red. A.P. Lisitsyn. M.: Nauchnyy mir, 2017. P. 373–380 (in Russian).
18. Chubarenko B., Chechko V., Pilipchuk V., Bulycheva E., Kileso A., Topchaya V. Hydrological and sedimentation conditions in non-tidal lagoon during ice-coverage – the example of the Vistula Lagoon, the Baltic Sea. Abstract book of 7th EUROLAG Symposium, 1–4 March 2016, Murcia (Spain). Compobell, Murcia, 2016. P. 52–53.
19. Рудинская Л.В., Гусев А.А. Вселение североамериканского двустворчатого моллюска *Rangia cuneata* в Вислинский залив Балтийского моря // Российский журнал биологических инвазий. 2012. № 2. С. 115–128.
20. Rudinskaya L.V., Gusev A.A. Introduction of the North American bivalve mollusk *Rangia cuneata* into the Vistula Lagoon of the Baltic sea // Rossijskij zhurnal biologicheskikh invazij. 2012. № 2. P. 115–127 (in Russian).

УДК 603\*4(470.56)

## ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА ЛЕСОВ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ

Щеглова Е.Г.

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург,  
e-mail: Helena\_charodeika@mail.ru

По результатам исследований, датированных 2015 г., экологи пришли к выводу, что из 85 регионов России, в которых ведется мониторинг загрязнения, 75 место принадлежит Оренбургской области. Одной из причин этого экологи называют небольшие леса Оренбургской области. Лес является одним из главных «фильтров» окружающей среды. Общая площадь, покрытая лесами, в Оренбургской области составляет всего примерно 4-4,5%, поэтому наряду с сохранением и восстановлением, что является одной из основных задач населения региона, леса нужно и приумножать. Леса Оренбургской области в основном относятся к категории защитных. Этот факт говорит о том, что такие леса являются природными объектами с особо ценным значением, на которые устанавливается особый правовой режим использования. Основной видовой состав следующий: *Quercus robur*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula*, *Pópulus nígra*, *Pópulus álba*, *Bétula péndula*. Результаты проведенных в 2015–2019 гг. исследований позволяют утверждать, что главные проблемы леса следующие: пожары, вредители, лесные болезни, почвенно-климатические процессы, а также деятельность человека. В зависимости от типа пожара такие повреждения могут распространяться на значительные территории. В 95% случаев возникновения пожаров причиной является антропогенная деятельность, и только 5% возникают в результате природных причин (климатические факторы, водный режим). Однако резко континентальный климат способствует распространению пожаров и увеличению площади повреждений. В данной статье приведены результаты по изучению особенностей древесных насаждений в лесах Оренбургской области, определен основной видовой состав древесной растительности и дана их характеристика. Выявлены проблемы, влияющие на формирование и жизнедеятельность древесной растительности в лесах Оренбургской области. Дана оценка экологического, биологического и хозяйственного значения лесов в Оренбургской области. Проанализировано восстановление древесной растительности после воздействия выявленных проблемных факторов. Определены пути по улучшению качества лесов в Оренбургской области.

**Ключевые слова:** лес, древесная растительность, биологическая оценка, качество лесов, лесные пожары, болезни леса, вредители, Оренбургская область

## CHANGES IN THE QUALITY OF FORESTS IN THE ORENBURG REGION UNDER THE INFLUENCE OF NATURAL FACTORS

Scheglova E.G.

Orenburg State University, Orenburg, e-mail: Helena\_charodeika@mail.ru

According to the results of studies dated 2015, environmentalists concluded that of the 85 regions of Russia where pollution is monitored, 75 place belongs to the Orenburg region. One of the reasons for this is the small forests of the Orenburg region. The forest is one of the main «filters» of the environment. The total area covered by forests in the Orenburg region is only about 4-4.5%, so along with conservation and restoration, which is one of the main tasks of the region's population, forests need to be increased. Forests of the Orenburg region are mainly classified as protective. This fact indicates that such forests are natural objects of special value, which are subject to a special legal regime of use. The main species composition is as follows: *Quercus robur*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula*, *Pópulus nígra*, *Pópulus álba*, *Bétula péndula*. The results of the research conducted in 2015-2019 suggest that the main problems of the forest are as follows: fires, pests, forest diseases, soil and climate processes, and human activity. Depending on the type of fire, such damage can spread over large areas. In 95% of cases of fires, the cause is anthropogenic activity and only 5% is caused by natural causes (climate factors, water regime). However, the sharply continental climate contributes to the spread of fires and an increase in the area of damage. This article presents the results of studying the features of tree plantations in the forests of the Orenburg region, the main species composition of tree vegetation is determined and their characteristics are given. The problems affecting the formation and functioning of woody vegetation in the forests of the Orenburg region are identified. An assessment of the ecological, biological and economic significance of forests in the Orenburg region is given. The restoration of woody vegetation after exposure to the identified problem factors was analyzed. Ways to improve the quality of forests in the Orenburg region have been identified.

**Keywords:** forest, woody vegetation, biological assessment, forest quality, forest fires, forest diseases, pests, Orenburg region

Леса являются одной из важнейших экосистем на нашей планете, а потому по праву называются «легкими Земли». Леса выполняют самые различные функции: от экологических до рекреационных, поэтому их изучение так важно [1].

В Оренбургской области леса занимают площадь 4–4,5%, тем самым показывая, что крайне важно их изучать, сохранять и беречь. По данным государственного лесного реестра на 1 января 2019 г. в Оренбургской области 722 тыс. га – это лесные площади.

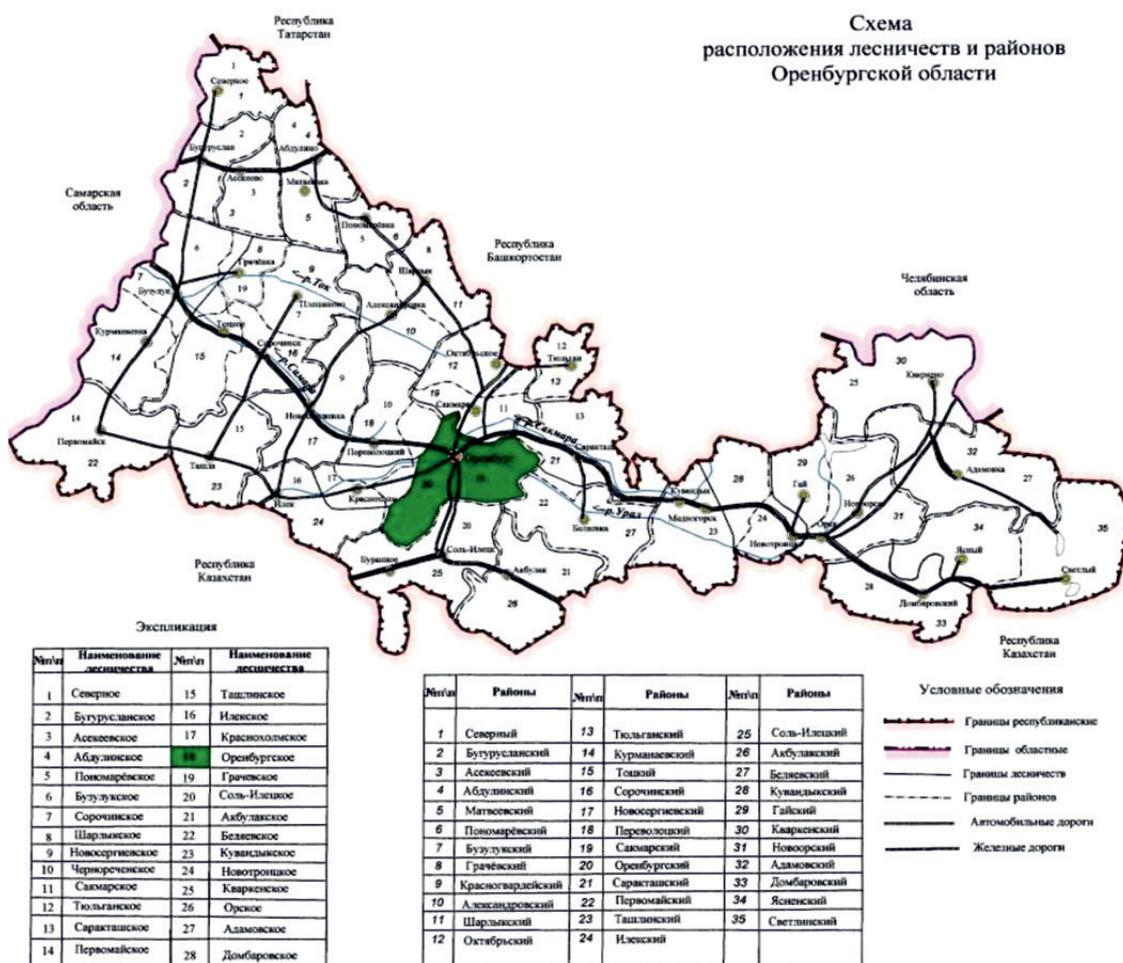


Рис. 1. Расположение лесничеств на территории Оренбургской области

На территории Оренбургской области существуют 28 лесничеств (рис. 1).

Леса Оренбургской области классифицируются как защитные леса, которые, в свою очередь, подразделяются на три категории:

1) леса, расположенные на особо охраняемых природных территориях;

2) леса, расположенные в водоохраных зонах;

3) леса, выполняющие функции защиты природных и иных объектов [Лесной кодекс РФ, ст. 102]. В Оренбургской области леса в основном 2 и 3 категорий [2].

Цель исследования: изучить особенности древесной растительности Оренбургской области и выявить их главные проблемы. В соответствии с целью исследований были определены следующие задачи:

1) изучить особенности древесных насаждений в лесах Оренбургской области;

2) провести анализ состояния древесной растительности в лесах области и на его основе дать их биологическую оценку.

3) разработать мероприятия по улучшению качества лесов в лесничествах Оренбургской области.

### Материалы и методы исследования

Исследования проводились в период с 2015 по 2019 г. в лесах Оренбургской области. В процессе исследования использовались статистический, математический, экспериментальный методы, а также анализировалась различная литература по данной тематике.

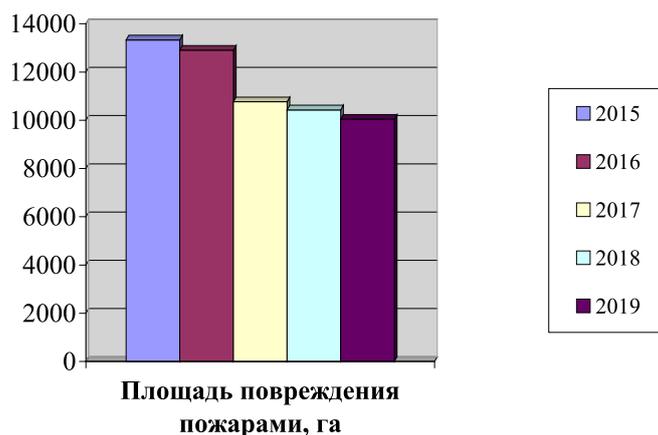


Рис. 2. Площадь лесов Оренбургской области, поврежденная пожарами с 2015 по 2019 г., га

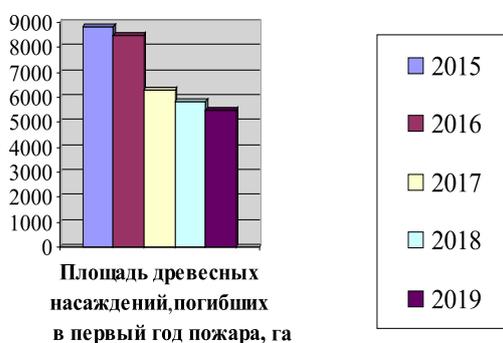


Рис. 3. Площадь древесных насаждений, погибших в первый год пожара с 2015 по 2019 гг., га



Рис. 4. Площадь древесных насаждений, поврежденных насекомыми (2015–2019 гг.), в га

### Результаты исследования и их обсуждение

**Лесные пожары.** В Оренбургской области резко континентальный климат, характеризующийся холодной зимой и жарким летом. Данный климат способствует развитию пожаров, о чем свидетельствуют результаты исследований (рис. 2).

По рис. 2 видно, что ежегодно пожары повреждают достаточно большие лесные территории (в среднем около 10 000 га, увеличивая площадь повреждения в отдельные годы (2015, 2016 г.) свыше 10 000 га).

При этом большая часть древесных насаждений, поврежденных пожарами, либо сразу погибают (рис. 3), либо в последующие несколько лет.

Огромное значение на древесные насаждения оказывает тип пожара, так как от этого зависит площадь повреждения. Больше всего площадь повреждения отмечается при устойчивом низовом пожаре высокой или средней интенсивности, меньше

площадь повреждения – верховые пожары. К тому же, после влияние устойчивых низовых пожаров на древесную растительность отмечено спустя 4 и более лет после пожара. Пожары отмечаются практически во всех лесничествах Оренбургской области.

**Повреждение насекомыми.** Каждый год в лесничествах Оренбургской области регистрируются повреждения древесной растительности, вызванные деятельностью насекомых (рис. 4).

По степени воздействия на древесные насаждения в лесах Оренбургской области в порядке убывания влияния определилась следующая картина: непарный шелкопряд, рыжий сосновый пилильщик, звездчатый пилильщик ткач, совка сосновая, совка желто-серая весенняя. Повреждаемые виды: *Quercus robur*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula*. Непарный шелкопряд больше всего отмечен в Абдулинском, Бугурусланском, Пономаревском, Бузулукском, Асекеевском, Кувандыкском лесничествах. Рыжий сосновый пилильщик в Грачевском, Кваркенском,

Бузулукском, Первомайском лесничествах. Звездчатый пилильщик ткач – Первомайское, Адамовское, Соль-Илецкое, Акбулакское лесничества. Совка сосновая распространена на территории Сорочинского лесничества в кварталах с преобладанием хвойных видов деревьев. Совка желто-серая весенняя отмечена в Адамовском лесничестве [3, 4].

*Погодные условия и почвенно-климатические факторы.* В связи с тем, что Оренбургская область располагается в зоне резко континентального климата, немаловажными становятся погодные условия

и почвенно-климатические факторы, которые оказывают существенное влияние на древесные насаждения (рис. 5).

По рис. 5 можно сделать вывод о том, что с каждым годом возрастает роль неблагоприятных погодных условий и почвенно-климатических факторов на древесную растительность, вызывая ее гибель и увеличивая площадь погибших древостоев.

*Болезни леса.* Болезни леса препятствуют нормальной жизнедеятельности древесной растительности. В лесах Оренбургской области влияние данного фактора отмечается ежегодно (рис. 6).

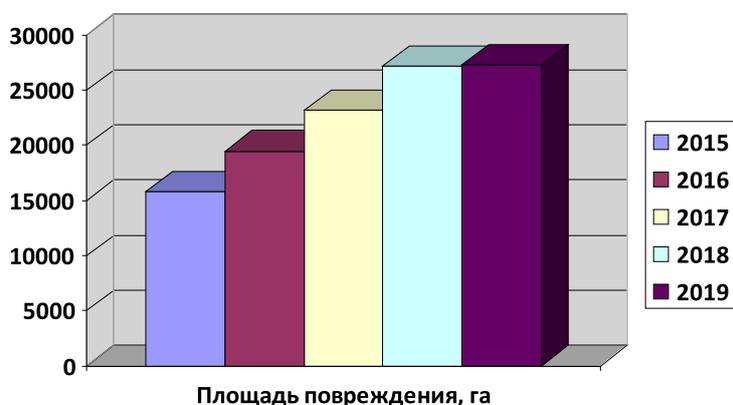


Рис. 5. Площадь древесных насаждений, поврежденных за счет погодных условий и почвенно-климатических факторов с 2015 по 2019 г., га

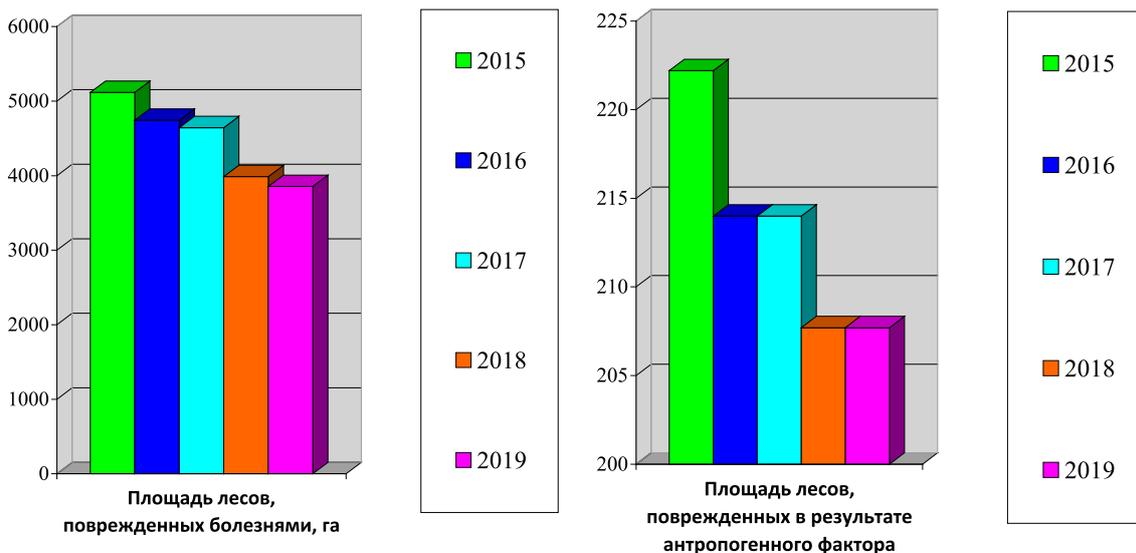


Рис. 6. Площадь лесов Оренбургской области, поврежденных болезнями с 2015 по 2019 г., га

Рис. 7. Площадь лесов Оренбургской области, поврежденных по причине антропогенного фактора с 2015 по 2019 г., га

Результаты проведенных исследований позволили утверждать, что по масштабу воздействия на леса Оренбургской области первое место принадлежит трутовику ложному осиновому, второе место – трутовику ложному дубовому, третье место – бактериальному заболеванию березы, и далее, в порядке убывания, корневой губке, раку тополя и осины черной, раку смолянному, некротико-раковым заболеваниям стволов, голландской болезни ильмовых, трутовику настоящему [5]. Видовой состав поврежденный болезнями: *Pópuslus trémula*, *Pópuslus nígra*, *Pópuslus álba*, *Pínus sylvéstris*, *Bétula péndula*, *Quércus róbur*.

**Антропогенный фактор.** Деятельность человека как отдельный фактор, воздействующий на все экосистемы, в том числе на леса, начали выделять еще в прошлом столетии. Развивая промышленность, сельское хозяйство, производя вырубку, человечество значительно ухудшает качество лесов, а также сокращает их площадь. Помимо этого, вышеуказанные проблемы лесов нередко связаны с человеком. Например, 95% лесных пожаров возникают в результате антропогенного фактора. Несвоевременный учет и уход за древесной растительностью приводит к большей подверженности деревьев к поражению болезнями, насекомыми и распространению пожаров на большие площади (рис. 7).

Для улучшения качества лесов Оренбургской области необходимо проводить комплекс мероприятий [6]. В первую очередь нужно своевременно проводить осмотр древесной растительности по кварталам в лесничествах. Своевременный осмотр позволит выявить старые сухие деревья, вовремя убрав которые можно предотвратить лесные пожары. Кроме этого, с деревьев легче смахнуть личинки, чем потом бороться с насекомыми. Чем раньше выявлены болезни леса, тем проще их вылечить.

Для обновления древесной растительности необходимо выбирать те породы, которые адаптированы для имеющихся погодных и почвенно-климатических факторов.

### Выводы

1. Основной видовой состав древесных насаждений в лесничествах Оренбургской области: сосна обыкновенная, тополь черный, береза, дуб низкоствольный, клен ясенелистный.

2. По масштабам воздействия на древесные насаждения Оренбургской области на первом месте – погодные условия и почвенно-климатические факторы, которые тесно связаны с другим фактором – пожарами. На втором месте – устойчивые низовые пожары высокой или средней интенсивности. На третьем месте – болезни леса.

3. Качество лесов Оренбургской области по результатам проведенных исследований удовлетворительное.

4. С целью улучшения качества лесов Оренбургской области в первую очередь необходимо своевременный осмотр кварталов в лесничествах.

### Список литературы / References

1. Потокина С.М. К вопросу о динамике лесистости Оренбургской области // Вопросы степеведения. 2011. № 9. С. 125–126.
2. Photokina S.M. On the dynamics of forest cover in the Orenburg region // Voprosy stepvedeniya. 2011. № 9. P. 125–126 (in Russian).
3. Щеглова Е.Г. О состоянии лесов Оренбургской области (на примере Оренбургского лесничества) // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 6. С. 38–43.
4. Scheglova E.G. About of state forests Orenburg region (on forestry example of Orenburg) // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2015. № 6. P. 38–43 (in Russian).
5. Щеглова Е.Г. Основные факторы, влияющие на современное состояние лесов Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 2 (52). С. 8–9.
6. Scheglova E.G. The main factors that affect the current state of the forests of the Orenburg region // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. № 2 (52). P. 8–9 (in Russian).
7. Симоненкова В.А. Экология и динамика численности листо- и хвоегрызущих вредителей Южного Урала // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. Оренбург. 2011. № 1. С. 196–199.
8. Simonenkova V.A. Ecology and dynamics of the number of leaf-and coniferous-gnawing pests of the southern Urals. // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2011. № 1. P. 196–199 (in Russian).
9. Дунаев А.В., Дунаева Е.Н., Калугина С.В. Ложный дубовый трутовик *Phellinus Robustus* Bourd Et Galz. в Белгородских дубравах (биоэкология, распространение, вредоносность) // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2011. № 9 (104). С. 35–42.
10. Dunaev A.V., Dunaeva Ye.N., Kalugina S.V. About the oak polypore *Phellinus Robustus* Bourd Et Galz. in Belgorod oak forests (Bioecology, distribution, harmfulness) // Nauchnyye ведомosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye nauki. 2011. № 9 (104). P. 35–42 (in Russian).
11. Минниханов Р.Н., Мусин Х.Г., Мартынова М.В. О реализации концепции лесопользования в малолесных регионах // Пермский аграрный вестник. 2017. № 2. С. 39–43.
12. Minnikhanov R.N., Musin H.G., Martynova M.V. On the implementation of the concept of forest management in low-forest regions // Permskiy agrarnyy vestnik. 2017. № 2. P. 39–43 (in Russian).