

Импакт-фактор

РИНЦ – 0,741

Журнал издается с 2001 г.

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

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

Подписной индекс по каталогу «Роспечать» – 70062

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

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

Чернева Ирина Николаевна, к.с.-х.н.

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.х.н., проф. Алоев В.З. (Нальчик); д.х.н., проф. Великородов А.В. (Астрахань); д.х.н., проф. Дресвянников А.Ф. (Казань); д.х.н., проф. Душкин А.В. (Новосибирск); д.х.н., проф. Ивашкевич А.Н. (Москва); д.х.н., проф. Микитаев А.К. (Нальчик); д.х.н., проф. Нилов А.П. (Егорьевск); д.х.н., проф. Танганов Б.Б. (Улан-Удэ); д.с.-х.н., проф. Анищенко Л.Н. (Брянск); д.с.-х.н., проф. Байрамбеков Ш.Б. (Камызяк); д.с.-х.н., проф. Берсон З. (Великий Новгород); д.с.-х.н., проф. Зволинский В.П. (Волгоград); д.с.-х.н., проф. Коцарева Н.В. (Белгород); д.с.-х.н., проф. Ланцева Н.Н. (Новосибирск); д.с.-х.н., проф. Морозова Н.И. (Рязань); д.с.-х.н., проф. Тихановский А.Н. (Салехард); д.с.-х.н., проф. Улимбашев М.Б. (Нальчик); д.с.-х.н., проф. Ухтверов А.М. (Самара); д.с.-х.н., проф. Хазиахметов Ф.С. (Уфа); д.с.-х.н., проф. Шамшиев Б.Н. (Ош); д.г.-м.н., проф. Абилхасимов Х.Б. (Астана); д.г.-м.н., проф. Алексеев С.В. (Иркутск); д.г.-м.н., проф. Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.г.-м.н., проф. Гавришин А.И. (Новочеркасск); д.г.-м.н., проф. Ерофеев В.И. (Томск); д.г.-м.н., проф. Костицын В.И. (Пермь); д.г.-м.н., проф. Лебедев В.И. (Кызыл); д.г.-м.н., проф. Мельников А.И. (Иркутск)

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

Свидетельство – **ПИ № ФС 77-63398.**

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатен.

Импакт-фактор РИНЦ = 0,741.

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

Учредитель, издательство и редакция:
ИД «Академия Естествознания»

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

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

Подписано в печать – 18.09.2017
Дата выхода номера – 18.10.2017

Формат 60x90 1/8
Типография
ООО «Научно-издательский центр
Академия Естествознания»,
г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

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

Способ печати – оперативный.
Распространение по свободной цене.
Усл.п.л. 15,15
Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/9-2017
Подписной индекс 70062

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Химические науки (02.00.00)

ИЗУЧЕНИЕ ВЯЗКОСТИ РАСТВОРА ГУМАТА КАЛИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ pH СРЕДЫ <i>Жинжило В.А.</i>	7
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОСТИ И ИЗОФЕРМЕНТНОГО СПЕКТРА ПЕРОКСИДАЗ РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ <i>Землянухина О.А., Калаев В.Н., Воронина В.С.</i>	13
ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ПОЛИСАХАРИДОВ МИКРОПОРОШКА ИЗ ТУНИКИ АСЦИДИИ ПУРПУРНОЙ <i>Пивненко Т.Н., Позднякова Ю.М., Есипенко Р.В., Петрова Е.С.</i>	23
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНФОРМАЦИОННОГО СОСТАВА α -АЛАНИНА В ГАЗОВОЙ ФАЗЕ <i>Тен Г.Н., Щербакова Н.Е., Баранов В.И.</i>	30

Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)

ИЗУЧЕНИЕ И ОЦЕНКА ЛЕСНОГО ФОНДА ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ ЗА ПЕРИОД С 1998 ПО 2016 ГГ. <i>Пак Л.Н.</i>	36
ВЛИЯНИЕ СЕВООБОРОТОВ НА ПРИРОДНО-РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА ПОЧВЫ И ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ <i>Сайфуллина Л.Б., Курдюков Ю.Ф., Шубитидзе Г.В., Куликова В.А.</i>	41
ВЛИЯНИЕ АГРОТЕХНОЛОГИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ КУЛЬТУР КОРМОВОГО СЕВООБОРОТА <i>Тюлин В.А., Сутягин В.П., Латышева Е.А.</i>	47

Науки о Земле (25.00.00)

ИССЛЕДОВАНИЕ И КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОАЭРОМЕХАНИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ГАЗА <i>Волков П.В., Зятиков П.Н., Большунов А.В.</i>	52
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАДЗЕМНОЙ МАССЫ В ЭКОСИСТЕМАХ ОТВАЛОВ ПОСЛЕ УГЛЕДОБЫЧИ <i>Дубынина С.С.</i>	57
ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ВАЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТАЛЛОВ (Mn, Pb, Cr, Zn, Ni) В НЕКОТОРЫХ РЕКАХ ОБЪ-ИРТЫШСКОГО БАССЕЙНА <i>Земцова Е.С., Алимova Г.С.</i>	63
СХЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ МЕЖОТРАСЛЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ <i>Косолапов А.Е., Калиманов Т.А., Капустин М.В.</i>	68
ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ И ОБЗОР СОДЕРЖАНИЯ КАРТЫ «ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА БАССЕЙНА ОЗЕРА БАЙКАЛ» <i>Кузнецова Т.И.</i>	74
ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ НАЧАЛО В ГИДРОЛОГИИ И МЕЛИОРАЦИИ <i>Напрасников А.Т.</i>	82
БИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РАЙОНЕ ОЛОВОДОБЫЧИ (НА ПРИМЕРЕ ХИНГАНСКОГО ГОКА) <i>Новороцкая А.Г., Ионкин К.В.</i>	89
АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА, ОСЛАБЛЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИМИ ПОДЗЕМНЫМИ ХРАНИЛИЩАМИ ГАЗА <i>Пеньков В.Б., Левина Л.В., Кузьменко Н.В.</i>	95

СХЕМЫ КАЧЕСТВЕННО-КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ УГЛЯ ПРИ ДОБЫЧЕ И ПОДГОТОВКЕ К ПОСТАВКАМ УДАЛЁННЫМ ПОТРЕБИТЕЛЯМ <i>Федоров В.И., Гаврилов В.Л., Хюютанов Е.А.</i>	102
СНИЖЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ АНОМАЛИЙ, СВЯЗАННЫХ С ГАЗОНАСЫЩЕНИЕМ, ПО ТЕХНОЛОГИИ АВО-АНАЛИЗА НА ТЕРРИТОРИИ ВИЛЮЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ <i>Феоктистова О.В.</i>	108
РЕКОНСТРУКЦИЯ ФАЦИАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ НЕФТЕНОСНЫХ ПЛАСТОВ Ю ¹ И Ю ² КАЗАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ) <i>Черданцева Д.А., Краснощечекова Л.А., Меркулов В.П.</i>	115
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТИ НА НИЗКИХ ЧАСТОТАХ <i>Шайхутдинова М.Ш., Гоц С.С., Ямалетдинова К.Ш.</i>	121

CONTENTS
Chemical sciences (02.00.00)

THE STUDY OF THE VISCOSITY OF THE SOLUTION OF POTASSIUM HUMATE DEPENDING ON pH <i>Zhinzhilo V.A.</i>	7
COMPARATIVE ANALYSIS OF THE METHODS USED TO DETERMINE THE ACTIVITY AND ISOZYME SPECTRUM OF DIFFERENT ORIGIN PEROXIDASES <i>Zemlyanukhina O.A., Kalaev V.N., Voronina V.S.</i>	13
THE RESEARCH OF THE COMPOSITION AND PROPERTIES OF POLYSACCHARIDES FROM MICROPOWDER OF THE TUNICS OF PURPLE ASCIDIAN <i>Pivnenko T.N., Pozdnyakova Yu.M., Esipenko R.V., Petrova E.S.</i>	23
DETERMINATION OF α -ALANINE CONFORMATIONAL COMPOSITION IN THE GAS PHASE <i>Ten G.N., Scherbakova N.E., Baranov V.I.</i>	30

Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

STUDY AND EVALUATION OF THE FOREST RESERVES IN ZABAYKALSKY KRAI FOR THE PERIOD FROM 1998 TO 2016 <i>Pak L.N.</i>	36
INFLUENCE OF CROP ROTATIONS ON NATURAL AND RESOURCE POTENTIAL OF SOIL MINERAL NITROGEN AND HARVEST DEVELOPMENT OF WINTER WHEAT <i>Sayfullina L.B., Kurdyukov Yu.F., Shubitidze G.V., Kulikova V.A.</i>	41
THE INFLUENCE OF AGROTECHNOLOGIES ON CROP PRODUCTIVITY OF FARMS OF NORTHERN CROPS <i>Tyulin V.A., Sutyagin V.P., Latysheva E.A.</i>	47

Earth sciences (25.00.00)

RESEARCH AND COMBINED APPLICATION OF HYDRO-AEROMECHANICAL METHODS FOR PREVENTION OF HYDRATE FORMATION AT PREPARATION OF GAS <i>Volkov P.V., Zyatikov P.N., Bolchunov A.V.</i>	52
SPATIAL-TEMPORAL CHANGES OF ABOVEGROUND MASS IN THE ECOSYSTEMS OF THE PILES AFTER THE COAL MINING INDUSTRY <i>Dubynina S.S.</i>	57
INFLUENCE OF GRANULOMETRIC COMPOSITION OF BOTTOM SEDIMENTS ON GROSS DISTRIBUTION OF METALS (MN, PB, CR, ZN, NI) IN SOME RIVERS OF THE OB-IRTYSH BASIN <i>Zemtsova E.S., Alimova G.S.</i>	63
SCHEMES OF INTEGRATED USE AND PROTECTION OF WATER OBJECTS IN THE SYSTEM OF REGULATION OF INTER-BRANCH INTERACTION AT THE MANAGEMENT OF WATER RESOURCES <i>Kosolapov A.E., Kalimanov T.A., Kapustin M.V.</i>	68
PRINCIPLES OF CREATION AND REVIEW OF THE MAP CONTENT «LANDSCAPE-ECOLOGICAL ENVIRONMENT OF THE LAKE BAIKAL BASIN» <i>Kuznetsova T.I.</i>	74
THE GEOGRAPHICAL PRINCIPLE IN HYDROLOGY AND MELIORATION <i>Naprasnikov A.T.</i>	82
BIOLOGICAL MONITORING OF THE ENVIRONMENT STATE IN THE TIN MINING AREA (AS AN EXAMPLE OF THE KHINGANSKY MINING AND CONCENTRATION COMPLEX) <i>Novorotskaya A.G., Ionkin K.V.</i>	89

ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE OF PILLAR, WEAKENED BY THE INTERACTION OF UNDERGROUND GAS STORAGE <i>Penkov V.B., Levina L.V., Kuzmenko N.V.</i>	95
SCHEMES OF QUALITATIVE AND QUANTITATIVE COAL TRANSFORMATION FOR MINING AND PREPARATION FOR SUPPLY TO THE REMOTE CONSUMERS <i>Fedorov V.I., Gavrilov V.L., Khoyutanov E.A.</i>	102
REDUCTION OF UNCERTAINTY AT DETECTION OF GAS SATURATED ANOMALIES BY TECHNOLOGY OF AVO-ANALYSIS ON THE VILAYSKY SINKLESIS TERRITORY <i>Feoktistova O.V.</i>	108
THE RECONSTRUCTION OF RESERVOIRS U_1^1 AND U_1^2 FORMATION FACIES CONDITIONS AT THE KAZANSKOE HYDROCARBON DEPOSIT (TOMSKAYA OBLAST) <i>Cherdantseva D.A., Krasnoshchekova L.A., Merkulov V.P.</i>	115
EXPERIMENTAL STUDIES OF ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF OIL AT LOW FREQUENCIES <i>Shaykhutdinova M.Sh., Gots S.S., Yamaletdinova K.Sh.</i>	121

УДК 544.2:678

ИЗУЧЕНИЕ ВЯЗКОСТИ РАСТВОРА ГУМАТА КАЛИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ pH СРЕДЫ

Жинжило В.А.*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, e-mail: i06993@yandex.ru*

Гуминовые вещества имеют важное значение в природе, являясь одновременно и регуляторами биогеохимических процессов, и компонентами полезных ископаемых. Кроме этого находят все более широкое применение в практике сельского хозяйства, медицине и других отраслей промышленности. В статье рассмотрена зависимость относительной вязкости раствора гумата калия от уровня pH среды раствора и дана попытка объяснения наблюдаемого явления. Одновременно обращается внимание на неоднозначность получаемых в обычной практике систем, называемых гуматами щелочных металлов, поскольку являются комплексами металлов и нейтральных гуминовых кислот. Установлено, что зависимость относительной вязкости раствора гумата калия от pH среды раствора является нелинейной величиной, имеющей экстремальные минимумы, связанные с изоэлектрической точкой, и является функцией пространственных флуктуаций в сложной дисперсной системе.

Ключевые слова: гуминовая кислота, гумат калия, относительная вязкость

THE STUDY OF THE VISCOSITY OF THE SOLUTION OF POTASSIUM HUMATE DEPENDING ON pH

Zhinzhilo V.A.*Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: i06993@yandex.ru*

Humic substances are important in nature, being simultaneously regulators of biogeochemical processes, and components of minerals. In addition, there is an increasing application in the practice of agriculture, medicine and other industries. The dependence of the relative viscosity of the solution of potassium humate on the pH of the solution medium is considered and an attempt is made to explain the observed phenomenon. At the same time, attention is drawn to the ambiguity of the systems obtained in the ordinary practice, called humates of alkali metals, since they are complexes of metals and neutral humic acids. It is established that the dependence of the relative viscosity of the solution of potassium humate on the pH of the solution medium is a nonlinear quantity having extreme minima associated with the isoelectric point and is a function of spatial fluctuations in a complex disperse system.

Keywords: humic acid, potassium humate, relative viscosity

Гуминовые вещества входят в состав органического вещества многих природных объектов: вод, почв, осадочных отложений водоемов и твердых горючих ископаемых. Макромолекулы гуминовых веществ отличаются содержанием большого числа разнообразных функциональных групп, из которых преобладают кислородсодержащие карбоксильные и гидроксильные группы. Это определяет характер взаимодействия этих соединений с различными типами органических и неорганических веществ, например с ионами металлов, углеводов, аминов, в том числе и биогенных, и позволяет в определенных рамках рассматривать гуминовые вещества как своеобразные сорбенты, способные связывать вещества как силами физической природы, так и химически взаимодействовать с последними [1].

Одним, наиболее активным компонентом гуминовых веществ можно считать гуминовые или гумусовые кислоты, представляющие собой единый комплекс органических соединений темно-бурого, а в сухом виде – глубокого черного цвета

с раковистым блестящим изломом. Основу структуры гуминовых кислот составляют ароматические кольца типа бензола, нафталина или гетероциклические – типа фурана, пиридина, индола и других соединений. Структурные фрагменты соединены между собой различными группами (-O-, -N-, -CH₂-, -C-C-). Боковые цепи содержат преимущественно карбоксильные (-COOH) и гидроксильные группы фенолов (-OH) с участием метоксильных, карбонильных, амидных групп и их комбинации [2]. Широкий спектр функциональных групп обеспечивает комплексобразующие и окислительно-восстановительные свойства гуминовых кислот [3]. Целью настоящего исследования является изучение зависимости относительной вязкости растворов гумата калия от pH среды, как косвенного показателя внутримолекулярных изменений.

Гуминовые кислоты являются практически не растворимыми в большинстве известных чистых растворителей, в том числе и в воде. Вместе с этим следует отметить, что в гидратированном виде они

могут образовывать вполне устойчивые коллоидные системы, например, при достаточно долгом центрифугировании образца в дистиллированной воде, даже в кислой среде. Кроме этого, простое механическое диспергирование образца гуминовой кислоты, лишенной гидратной оболочки, приводит к тому, что визуально неизменная дистиллированная вода изменяет свой уровень pH среды с исходного 6,8 до 3,5 при 273 К. В щелочной среде происходит ионизация карбоксильной группы, а в области высокой щелочности и гидроксильных групп фенольных фрагментов. Образующуюся при этом систему принято называть гуматом, а в частном случае, если растворителем выступает водный раствор гидроксида калия – гуматом калия.

Образование раствора гумата калия возможно в широком диапазоне как уровней pH среды, так и гидромодулей растворителя – растворяемое вещество. Однако, изучая свойства растворов гумата калия, необходимо быть совершенно уверенным в том, что раствор содержит именно гумат калия и не содержит свободной щелочи, не вступившей в реакцию нейтрализации с кислыми функциональными группами. В своей работе мы добивались максимально возможного растворения образца почвенной гуминовой кислоты в разбавленном растворе гидроксида калия с точно установленным титром. В дальнейшем определялись плотность получаемого раствора стандартной процедурой, массовая концентрация полученного раствора по выпариванию растворителя в мягких условиях и максимальная растворимость гуминовой кислоты в растворе гидроксида калия при 273 К.

При максимальном насыщении раствора гидроксида калия происходит конкурентное насыщение более активных карбоксильных групп, а гидроксильные фенольные фрагменты остаются свободными. Естественно предположить, что при повышении уровня pH среды произойдет в определенный момент нейтрализация фенольной составляющей гуминовых кислот. Строение мицеллы при этом изменяется и, как следствие, некоторые физические свойства, в частности вязкость раствора. Учитывая, что растворы гуминовых кислот являются растворами высокомолекулярного соединения, а по своей сути полиамфолитами, возможно определение изоэлектрической точки растворов, что важно для понимания многих почвенных процессов.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта эксперимента были выбраны гуминовые кислоты черноземов, расположенных в Ростовской области, которые извлекались методом экстракции с последующим осаждением, очисткой, установлением точного микроэлементного состава прибором фирмы «Carlo Erba Instruments». Извлечение образцов гуминовых кислот производилось с предварительной декальцинацией почвы раствором хлороводородной кислоты с массовой долей хлороводорода в рабочем растворе 3%. Образец почвы подготавливался в соответствии со стандартными процедурами, обрабатывался кислотой в течение суток, затем отмывался дистиллятом до нейтральной среды в промывных водах и высушивался на воздухе до воздушно-сухого состояния. Навеску подготовленной почвы обрабатывали 0,1 н раствором NaOH на кипящей водяной бане в течение 6 часов при гидромодуле 1:20 [4–6]. После охлаждения и отстаивания системы декантировали надосадочную жидкость и подвергали ее центрифугированию при 6000 оборотах ротора центрифуги в течение 15 минут для отделения нерастворимых частиц и разрушения коллоидов алюминиевых соединений. Темно-коричневую жидкость подкисляли 10%-ным раствором соляной кислоты до уровня pH среды 1–2. Осадку давали уплотняться в течение 12 часов, отделяли центрифугированием при указанных выше режимах, промывали дистиллятом до нейтральной среды промывных вод. Не давая высушиться повторно, растворяли в водном растворе гидроксида натрия указанной выше концентрации, но без нагревания, центрифугировали, придерживаясь прежних режимов, повторно осаждали тем же осадителем и вновь отделяли осадок центрифугированием. Полученный образец гуминовой кислоты высушивался первоначально на воздухе, затем в сушильной камере при температуре 60 °С и охлаждался в эксикаторе над концентрированной серной кислотой. Найдено: содержание гуминовой кислоты в воздушно-сухом образце почвы – 4,52%. Элементный анализ образца: зольных элементов не содержится, С – 52,46%, Н – 6,75%, О – 35,59%, N – 5,2%.

Получение раствора гумата калия. Навеску препарата гуминовой кислоты заливали точно определенным объемом раствора гидроксида калия 0,045 н концентрации, слегка нагревали при постоянном помешивании и оставляли при комнатной темпе-

ратуре на сутки. По истечении указанного времени раствор вновь слегка нагревали до 55 °С, выдерживали в течение 1 часа и при постоянном перемешивании охлаждали до комнатной температуры (22 °С), полученный раствор центрифугировали при 8000 оборотах ротора центрифуги в течение 10 минут. Фугат сливали, а осадок обрабатывали раствором хлороводородной кислоты, промывали до нейтральной среды, высушивали и взвешивали. По разнице масс определяли массу гуминовой кислоты, которая может быть максимально растворена при данных температурных условиях в использованном растворителе. Найдено: 1 грамм КОН максимально растворяет 0,788 г гуминовой кислоты при комнатной температуре. Параллельно определялась концентрация образовавшегося в растворе гумата калия методом испарения растворителя при температуре 60 °С из точно измеренного объема раствора. Рассчитанные в эксперименте данные не противоречили друг другу, практически численно совпадая и образуя раствор гумата калия с массовой концентрацией вещества 13,38 г/л. Полученный раствор обладал интенсивно-черным цветом, не позволяющим проводить турбодиметрические исследования, при 18 °С имел плотность равную 1,007 г/см³. Исходный раствор для работы разбавляли дистиллированной водой до содержания гумата калия 2,141 г/л. При этом отмечено смещение рН показателя от 5,96 единиц до 7,76, то есть произошло смещение из слабокислой области в область слабощелочных значений, что вполне объясняется увеличением степени гидролиза при разбавлении. Полученный раствор делили на отдельные порции, в которые вводили раствор гидроксида калия 0,045 н концентрации по каплям под контролем рН-метра. Отмечено, что равновесие рН показателя раствора устанавливается не сразу, а в течение некоторого промежутка времени, в связи с чем точные значения рН показателя устанавливали по истечении суток, когда волатильности показаний не было. Явление волатильности рН показателя, по-видимому, может быть объяснено статистической вероятностью взаимодействия гидроксильных ионов и источников свободных протонов молекул гуминовых кислот, в качестве которых выступают конкурирующие доноры протонов карбоксильные и гидроксогруппы фенолов. Между этими частями молекулы в течение некоторого времени устанавливается равновесие, связанное со статистически

возможной первоначальной ионизацией фенольных групп, а затем с перемещением ионизации по месту карбоксигрупп, как более кислотноактивных. В это время происходит изменение рН среды из более основной в сторону более кислой среды, устанавливаемое в течение нескольких часов. Для каждого образца определялась плотность пикнометрическим методом. Методом капиллярной вискозиметрии в вискозиметре Оствальда определялось время истечения в трехкратной повторности для каждого образца. Результаты усреднялись, значительных колебаний в значениях отмечено не было. Относительную вязкость вычисляли по формуле

$$\eta = \eta_0(\rho\tau/\rho_0\tau_0),$$

где η – коэффициент вязкости полученного раствора, η_0 – вязкость дистиллированной воды при температуре измерения, ρ – плотность определяемого раствора, τ – время истечения данного раствора через капилляр вискозиметра, ρ_0 – плотность дистиллированной воды при данной температуре, τ_0 – время истечения дистиллированной воды через капилляр вискозиметра.

Полученные результаты отражены в таблице.

Поскольку все исходные растворы являлись глубоко окрашенными, визуальную степень прозрачности определить было невозможно, нами была предпринята попытка проведения микрорископического исследования изучаемых растворов путем выпаривания растворителя в щадящих условиях с последующей визуальной оценкой вырастающих кристаллов. Все образцы давали примерно одинаковую картину: в поле зрения микроскопа при разных увеличениях фиксировали хаотично разбросанные кристаллические структуры в виде древовидных кристаллов, помещенных в систему аморфного пленкообразного вещества.

Результаты исследования и их обсуждение

Изучив зависимость относительной вязкости от рН среды раствора гумата калия, представленную на рис. 1, можно отметить неоднозначный характер такой зависимости. Так, в области рН среды, равной 8,86 единиц, четко проявляется пик минимальной относительной вязкости, что может соответствовать изоэлектрической точке гумата калия в данных условиях. В области значений рН от 10 и практически до 11,5 коэффициент вязкости выходит на некоторую синусоиду, соответствующую,

по-видимому, активному связыванию гидроксогрупп фенолов, подвергающихся значительному гидролизу. В области значений выше 11,5 относительная вязкость начинает существенно возрастать из-за подавления гидролитических процессов и формирования крупных ассоциатов как межмолекулярного характера, так и формированием внутримолекулярных связей электростатического характера.

одноименно заряженных участков полимерной молекулы, приводящего в итоге к изменению положения заряженных участков и формированию новых связей в пределах агрегатов, что и позволяет химически сорбировать на молекуле гумата калия дополнительных не ионизированных в данных условиях молекул гуминовой кислоты, и, как следствие, молекула начинает разворачиваться с возможным изменением зарядов

Зависимость относительной вязкости раствора гумата калия от уровня рН – среды раствора при 18 °С

№ образца	Уровень рН среды образца	Время истечения – τ , с	Среднее значение времени истечения – τ , с	Плотность раствора, г/см ³	Рассчитанная относительная вязкость – η
1	7,76	9,5; 9,5; 9,6	9,53	1,0030	0,6716
2	8,03	10; 10; 10	10,00	1,0030	0,7050
3	8,30	9,9; 9,8; 9,8	9,83	1,0028	0,6927
4	8,86	9,9; 9,9; 9,9	9,90	1,0026	0,66257
5	9,22	9,9; 9,9; 9,9	9,90	1,0024	0,6970
6	9,52	9,9; 10; 10	9,96	1,0022	0,7150
7	10,00	10; 10; 10	10,00	1,0020	0,7000
8	10,33	10; 10; 10	10,00	1,0018	0,7000
9	10,82	9,9; 9,8; 9,8	9,83	1,0016	0,6920
10	11,10	9,9; 9,9; 9,9	9,90	1,0014	0,6970
11	11,50	9,9; 9,9; 9,9	9,90	1,0012	0,6970
12	12,00	10; 10; 10,1	10,03	1,0011	0,7300

В области рН 8,86 наблюдается экстремальное падение относительной вязкости раствора, вслед за которым резкий рост, показывающий пространственные флуктуации молекул.

Поскольку гуминовые кислоты рассматриваются как высокомолекулярные полифункциональные вещества, содержащие разные по характеру функциональные группы, то их можно характеризовать в растворе в виде гумата калия как полиамфолиты, на длинных цепях которых силами разного характера удерживаются нейтральные молекулы гуминовой кислоты, или по крайней мере отдельные участки гуминовых кислот, например малополярные центральные части такой молекулы [7, 8]. При удалении от минимального значения коэффициента вязкости, что может быть рассмотрено как изoeлектрическая точка полиамфолита в данных условиях, в молекуле с увеличением значения рН показателя растет суммарный отрицательный заряд, располагаемый преимущественно по поверхности молекулы, а внутрь системы проникают и удерживаются молекулы воды, формируя объемную гидратированную систему [1]. В растворе возникают силы взаимного отталкивания

отдельных участков, что сопровождается верификацией значений рН среды в неизменных внешних условиях. Макромолекула гуминовой кислоты оказывается разными своими частями в тех слоях жидкости, которые движутся с разными относительными скоростями, и сама на себе испытывает действие момента сил, приводящих ее к вращательному движению относительно длинной оси, что в итоге выливается в относительный рост вязкости раствора (рис. 2).

Кроме этого возникает статистическая вероятность неполного насыщения кислотных групп в пределах одной молекулы и одновременное насыщение кислотных групп другой молекулы, что может формировать сорбцию нейтральных молекул с формированием комплекса гумат калия – гуминовая кислота. Результатом таких процессов может быть формирование аномалий относительной вязкости, связанной с установлением некоторого динамического равновесия. Для выяснения наличия вышеуказанных комплексов на стеклянные пластинки наносили образцы подготовленных для исследования вязкости комплексов и подвергали их кристаллизации в мягких условиях испарения растворителя. Полученные микропрепа-

раты исследовались под микроскопом под увеличением в 40, 120 раз. Во всех препаратах наблюдалась одна и та же картина: в центре поля зрения четко определяется кристаллическая структура древовидной, сильно разветвленной формы, предположительно кристаллы истинного гумата калия, просвечивающиеся через проходящий свет, не имеющие цвета (рис. 3). По краю кристаллической структуры заметно наличие неструктурированного вещества в виде сплошной массы некристаллического (аморфного) характера отчетливого коричневого цвета, предположительно неионизированной сорбированной гумино-

вой кислоты, образованной в результате коагуляции устойчивой дисперсной системы, условно называемой раствором гумата калия (рис. 4, 5). Наблюдаемое явление подтверждается ИК-спектрами образцов. Наряду с фиксируемыми пиками карбоксилат-ионов в области 1400 и 1404 cm^{-1} – симметричные колебания, 1634 и 1630 cm^{-1} – асимметричные колебания, регистрируются характеристические полосы с максимумами поглощения в области 1238, 1252, 1254 cm^{-1} , характерные для колебаний связей C=O в карбоксигруппах и деформационные колебания OH-групп в недиссоциированных карбоксильных группах.

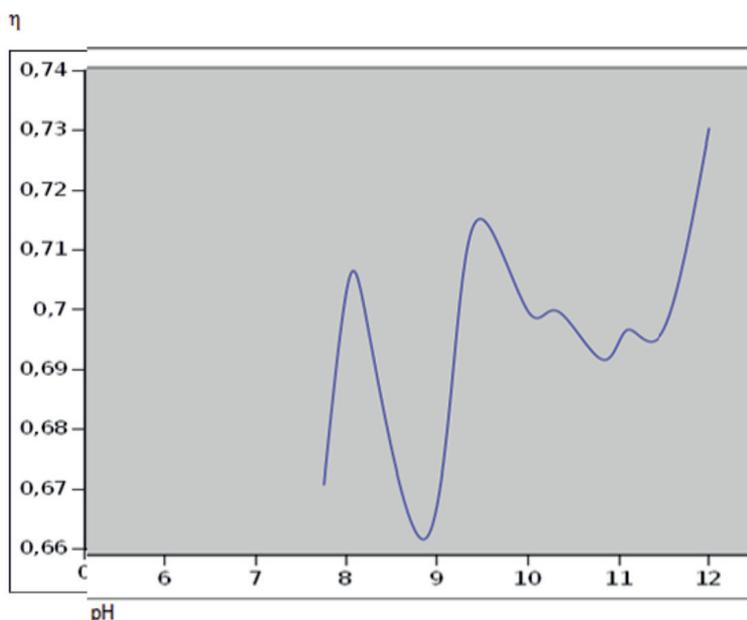


Рис. 1. Зависимость коэффициента вязкости раствора гумата калия от pH среды раствора

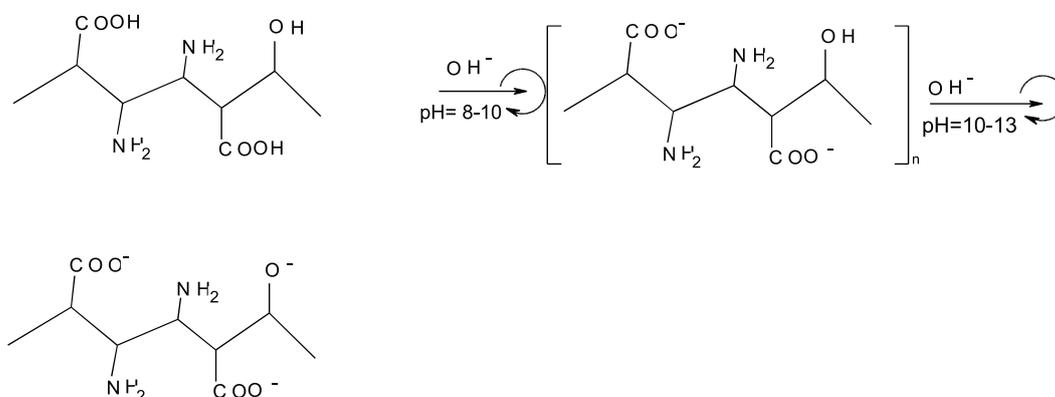


Рис. 2. Изменение молекулы гуминовой кислоты в зависимости от pH среды

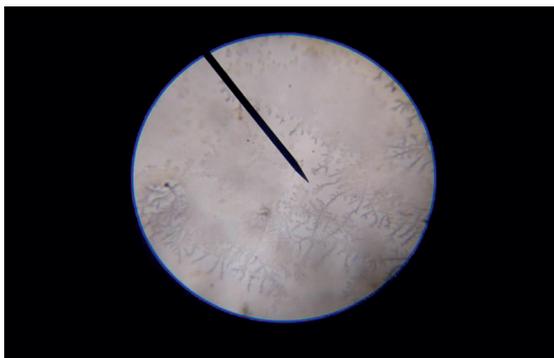


Рис. 3. Кристаллы гумата калия



Рис. 4. Кристаллы гумата калия на границе с неионизированной гуминовой кислотой. Указатель направлен в сторону границы раздела

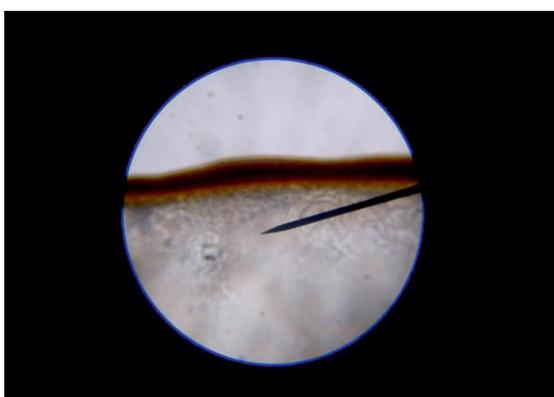


Рис. 5. Граница раздела кристаллической фазы и аморфной гуминовой кислоты

Анализируя полученные в ходе эксперимента данные, можно прийти к нескольким важным выводам:

1. Гуминовые кислоты в природных объектах (почвах, лечебных грязях и пр.) обладают, несомненно, буферными свойствами, дополняемыми агрегационными способностями, что приводит к образованиям специфических конгломератов, выполняющих важные свойства.

2. Описываемый в литературе гумат калия представляет собой межмолекулярный комплекс истинной соли, заключенной в оболочку аморфной нейтральной гуминовой кислоты.

Список литературы

1. Перминова И.В. Анализ, классификация и прогноз свойств гумусовых кислот: дис. ... док. хим. наук: 02.00.02 / Перминова Ирина Васильевна. – М., 2000. – 359 с.
2. Schnitzer M. Humic substances in the environment / M. Schnitzer, S.U. Khan – N.Y.: Marcel Decker, 1972. – 334 p.
3. Нестерова О.В., Семаль В.А., Трегубова В.Г. Международный форум по нанотехнологиям // Сборник тезисов секционных докладов, стендовых докладов и докладов участников конкурса научных работ молодых ученых. Дальневосточный государственный университет, секция «Химия и химическая технология наноматериалов». – Владивосток, 2008. – С. 39.
4. Некрасова О.А. Дергачева М.И. Содержание микроэлементов в черноземах обыкновенных и их гуминовых кислотах // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2011. – № 4(16). – С. 7–16.
5. Потапова И.А., Вишняков В.В., Пурьгин П.П., Симаква С.А., Воробьев Д.В., Ушакова В.Н. Выделение гуминовых кислот из бурых углей и их применение для рекультивации нефтезагрязненных земель // Известия Самарского научного центра РАН. Специальный выпуск «XIII конгресс Экология и здоровье человека». – 2008. – Т. 1. – С. 215–218.
6. Савченко И.А. Химико-фармацевтическое исследование гуминовых веществ сапропеля озера Горчаково: дис. ... канд. фарм. наук. Ом. гос. мед. академия. – Омск, 2015. – 209 с.
7. Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д. Высокомолекулярные органические соединения в почвах // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2010. – Выпуск 1. – С. 24–30.
8. Жданова А.В. Изучение структурных компонентов и физико-химических свойств гуминовых веществ низкоминерализованных иловых сульфидных грязей как источника антиоксидантных лекарственных средств: дис. ... канд. фарм. наук: 14.04.02 / Жданова Алина Валитовна; [Место защиты: ГОУ ВПО «Самарский государственный медицинский университет»]. – Самара, 2011. – 134 с.: ил.

References

1. Perminova I.V. Analiz, klassifikacija i prognoz svoystv gumusovykh kislot: dis. ... dok. him. nauk: 02.00.02 / Perminova Irina Vasilevna. M., 2000. 359 p.
2. Schnitzer M. Humic substances in the environment / M. Schnitzer, S.U. Khan N.Y.: Marcel Decker, 1972. 334 p.
3. Nesterova O.V., Semal V.A., Tregubova V.G. Mezhdunarodnyj forum po nanotehnologijam // Sbornik tezisov sekcionnykh dokladov, stendovykh dokladov i dokladov uchastnikov konkursa nauchnykh rabot molodykh uchenykh. Dalnevostochnyj gosudarstvennyj universitet, cekcija «Himija i himicheskaja tehnologija nanomaterialov». Vladivostok, 2008. pp. 39.
4. Nekrasova O.A., Dergacheva M.I. Soderzhanie mikroelementov v chernozemah obyknovennykh i ih guminovykh kislotah // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologija. 2011. no. 4(16). pp. 7–16.
5. Potapova I.A., Vishnjakov V.V., Purygin P.P., Simakova S.A., Vorobev D.V., Ushakova V.N. Vydelenie guminovykh kislot iz burykh uglej i ih primenenie dlja rekultivacii neftezagraznennykh zemel // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN. Specialnyj vypusk «XIII kongress Jekologija i zdorove cheloveka». 2008. T. 1. pp. 215–218.
6. Savchenko I.A. Himiko-farmaceutvicheskoe issledovanie guminovykh veshhestv sapropelja ozera Gorchakovo: dis. ...kand. farm. nauk. Om. gos. med. akademija. Omsk, 2015. 209 p.
7. Beznosikov V.A., Lodygin E.D. Vysokomolekuljarnye organicheskie soedinenija v pochvah // Izvestija Komi nauchnogo centra UrO RAN. 2010. Vypusk 1. pp. 24–30.
8. Zhdanova A.V. Izuchenie strukturnykh komponentov i fiziko-himicheskikh svoystv guminovykh veshhestv nizkomineralizovannykh ilovykh sulfidnykh grjazej kak istochnika antioksidantnykh lekarstvennykh sredstv: dis. ... kan. farm. nauk: 14.04.02 / Zhdanova Alina Valitovna; [Mesto zashhity: GOU VPO «Samarskij gosudarstvennyj medicinskij universitet»]. Samara, 2011. 134 p.: il.

УДК 54.04:543.94

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОСТИ И ИЗОФЕРМЕНТНОГО СПЕКТРА ПЕРОКСИДАЗ РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Землянухина О.А., Калаев В.Н., Воронина В.С.

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет», Воронеж, e-mail: oz54@mail.ru

В обзоре проанализированы результаты собственных исследований авторов, проводимых на протяжении 15 лет, и данные литературы, касающиеся методов определения активности и изоферментного спектра пероксидаз различного происхождения. Эксперименты по определению активности и изоферментного спектра пероксидаз выполнены с использованием культурального фильтрата корневой губки различных штаммов (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.), почек дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), листьев вяза обыкновенного (*Ulmus laevis* L.), микроклонов карельской березы (*Betula pendula* Roth var *carelica* Merkl.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth), а также вейгелы цветущей «вариегата» (*Weigela florida* «*Variegata*» Bunge A.D.C.), хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), трансгенных растений сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L.), сыворотки крови людей, больных артериальной гипертензией. Описаны буферные системы, субстратные смеси, применяемые для определения активности пероксидаз. Проанализированы кинетические параметры пероксидаз растительного и грибного происхождения в отношении бензидина, пирокатехина, 2,2-азинобис-(3-этилбензотиазолин-6-сульфоновой) кислоты. Установлена специфичность действия буфера Мак-Ильвейна на фермент корневой губки (*Heterobasidion annosum*): активность пероксидазы в буферной среде повышается в 9,7 раз по сравнению с культуральным фильтратом. Приведены сравнительные результаты исследований по выявлению изоферментного спектра пероксидаз в окрашивающих смесях бензидина, 1-нафтола, гваякола, о-дианисидина. На примере хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и листьев вяза (*Ulmus laevis* L.) показано влияние условий экстракции (длительность, компоненты экстрагирующего буфера) на активность пероксидазы. Показаны различия в изоферментном спектре пероксидаз трансгенных растений сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L.) в условиях *in vitro*. Описана методика выявления типов гаптоглобина человека в сыворотке крови больных артериальной гипертензией с использованием усовершенствованного способа анализа. Предполагается, что 1-нафтол является субстратом для пероксидазы, а не цитохром-с-оксидазы. Изоферментные спектры пероксидаз могут быть использованы для выявления видовых различий, стадий регенерации растений, онтогенетического возраста растений, стрессового воздействия. Предложен модифицированный способ определения активности и выявления изоферментного спектра пероксидазы, заключающийся в использовании субстратных смесей с рН равным 7,0 вместо применяемых в настоящее время систем с рН равным 2,0.

Ключевые слова: пероксидаза, оптимум рН, субстраты, изоформы, окрашивающие смеси, модификации

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE METHODS USED TO DETERMINE THE ACTIVITY AND ISOZYME SPECTRUM OF DIFFERENT ORIGIN PEROXIDASES

Zemlyanukhina O.A., Kalaev V.N., Voronina V.S.

*Federal State Budgetary Educational Institution of High Vocational Training
«Voronezh State University», Voronezh, e-mail: oz54@mail.ru*

The results of research conducted over 15 years are analyzed in the review. Also literature data on methods of determining the activity and isozyme spectrum of peroxidases of different origins are presented. Experiments to determine the activity and isozyme spectrum of peroxidases were performed using the culture filtrate of different strains of *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref., english oak elite tree buds (*Quercus robur* L.), an elm leaves (*Ulmus laevis* L.) as well as microclones of *Weigela florida* «*Variegata*» Bunge A.D.C., *Betula pendula* Roth and *Betula pendula* Roth var. *carelica* Merkl. The needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), transgenic sugar beet plants *in vitro* and serum of human blood of patients with arterial hypertension also were the objects of investigation. The influence of buffer system and buffer molarity, substrate mixtures (the Michaelis constants) used to determine the activity of peroxidase were described. Peroxidase kinetic parameters of plant and fungal origin with respect to benzidine, catechol, 2,2-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline)-6-sulfonic acid (ABTS) were analyzed. The specificity of McIlwain buffer action on the *Heterobasidion annosum* enzyme was investigated. Activity of peroxidase was increased 9,7-fold with compared to the culture filtrate in the presence of the buffer. Dying of gels in benzidine, 1-naphthol, guaiacol, o-dianisidine made it possible to compare peroxidase isozyme spectrums. Extraction enzyme conditions (duration, extracting components of the buffer) were studied on the needles of Scots pine and leaves of the elm as a model objects. Differences in peroxidase spectrum of transgenic sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants *in vitro* were shown. With the use of an improved method for identifying peroxidase spectrum haptoglobin types in serum of human blood of patients with arterial hypertension were identified. It is assumed that 1-naphthol is a substrate for the detection of peroxidase but not cytochrome-c-oxidase activity. Isozyme peroxidase spectrums can be used to identify plant genus, stage of plant regeneration and ontogenetic age, the action of stress factors. The modified method to determinine the activity and isozyme spectrum of peroxidase was proposed. The essence of method modification tends to change the value of pH of bensidine reactive up to 7.0, instead of pH 2,0–3,0 used today.

Keywords: peroxidase, pH-optimum, substrates, isoforms, staining procedure, modifications

Пероксидаза (ПО; КФ 1.11.1.7) относится к классу оксидоредуктаз. Основная функция ПО – катализировать окисление хими-

ческих соединений за счет пероксидного кислорода с образованием промежуточных комплексов [1].

Пероксидазы подразделяются на два семейства – животные и растительные [2]. Семейство растительных пероксидаз состоит из трех классов, выделяемых на основании исследований аминокислотных последовательностей ферментов [3]. К первому классу растительных ПО относятся внутриклеточные ферменты: аскорбатпероксидаза, бактериальная каталаза-пероксидаза и дрожжевая цитохром-*c*-пероксидаза, второй класс включает секретируемые грибные ферменты, а к третьему классу относятся секретируемые пероксидазы растений [4].

Пероксидаза является одним из ферментов, участвующих в регуляции роста и развития растительных организмов, поскольку катализирует защитные реакции от повреждений различного типа, а также участвует в формировании клеточной стенки и дыхании растений [5–7]. Доказана ее роль в образовании ауксина, этилена, восстановлении нитратов и нитритов, то есть в азотном обмене, ростовых процессах [8]. В присутствии ПО регулируется созревание и старение тканей, синтез лигнина [8]. ПО – наиболее часто изучаемый фермент при анализе соматической изменчивости, возникающей в культуре ткани в условиях *in vitro* [9]. Кроме того, энзим является чувствительным к разного рода неблагоприятным воздействиям и широко используется исследователями для оценки чувствительности/устойчивости к стрессу [10–12]. ПО является индуцибельным ферментом, индуктором которого могут служить физические, химические и биологические факторы. Кислые и основные пероксидазы участвуют в ответных реакциях при стрессовом состоянии растительного организма. В самом начале активируются основные ПО, а изменения, связанные с метаболизмом ауксина и этилена, индуцируют усиление синтеза кислых ПО как более поздний шаг ответа или защиты.

Пероксидазную активность определяют не только для анализа метаболизма растений, но и в клинико-биохимических исследованиях патологических процессов животных тканей, для диагностики хронических и острых, а также аллергических заболеваний. Кроме того, лиофилизированные препараты ПО используются для диагностики бактериальных, аллергических, аутоиммунных и онкологических заболеваний, включая СПИД и лепру [13–18].

В настоящее время существует множество методов определения активности и выявления изоферментного спектра пероксидаз; некоторые методики весьма трудоемки, малочувствительны, дают противоречивые

результаты [19–22]. Разнообразие методик определяется широкой субстратной специфичностью пероксидазы, поскольку фермент проявляет активность в присутствии пероксида водорода по отношению ко многим фенолам и ароматическим аминам: двухатомному фенолу пирокатехину (*o*-диоксибензолу), монометиловому эфиру пирокатехина – гваяколу, оксипроизводному нафталина – 1-нафтолу, 4,4'-диаминодифенилу, известному как бензидин, а также производному бензидина – 3,3'-диметоксибензидину (*o*-дианизидину), 2,2-азинобис-(3-этилбензотиазолин-6-сульфоновой) кислоте (АБТС) и многим другим [1, 21]. Таким образом, фермент является строго специфичным по отношению к перексиду водорода и широко специфичным – к другим субстратам [1]. Активность изоформ фермента также зависит от природы субстратов, а физиологические функции отдельных форм значительно отличаются. Отмечена видовая, органная, тканевая, внутриклеточная специфичность ПО [1].

В связи со значительным многообразием методов определения активности и выявления изоферментного спектра пероксидазы с применением различных субстратов целью настоящей работы явился обзор собственных 15-летних исследований, а также работ других авторов для выявления наиболее быстрого, незатратного, чувствительного способа в оптимальных субстратных условиях.

Объекты исследования

Обсуждаемые в обзоре эксперименты по определению активности и изоферментного спектра пероксидазы выполнены с использованием культурального филтратта корневой губки различных штаммов (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.), почек дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), листьев вяза обыкновенного (*Ulmus laevis* L.), микрклонов карельской березы (*Betula pendula* Roth var *carelica* Merkl.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth), а также вейгелы цветущей «вариегата» (*Weigela florida* «*Variiegata*» Bunge A.D.C.), хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), трансгенных растений сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L.), сыворотки крови людей, больных артериальной гипертензией.

Получение ферментных препаратов из растительных тканей

Для получения растительных ферментных экстрактов навеску растительного материала растирают с битым песком в экстрагирующем буфере (0,1 М трис-НСl

буфер, рН 7,5). Соотношение навески и буфера составляет в зависимости от образца от 1:4 до 1:10 (w/v). Гомогенат центрифугируют в эппендорфах в течение 10 минут при 20000 g, + 4 °С, на центрифуге CM50 ELM (Латвия). Надосадочные жидкости сохраняют при -3 °С в твердотельном термостате BIOSAN CH-100 (Латвия).

Буферы для определения активности пероксидазы

В зависимости от оптимума рН фермента используют 0,1 М ацетатный буфер в диапазоне рН 3,6–5,6; 0,1 М цитратный буфер (лимонная кислота / натрий лимоннокислый), рН 3,0–6,6; буфер Мак-Ильвейна (Na_2HPO_4 /лимонная кислота) рН 3,0–6,3; 0,1 М трис-НСl – рН 7,2–9,0.

Молярность буфера. При изучении влияния молярности буфера на активность фермента установлено, что максимальная активность ПО в реакции с бензидином наблюдалась в 100–200 мМ (0,1–0,2 М) трис-НСl буфере при рН 7,0.

Субстраты для определения активности пероксидазы

В проведенных нами экспериментах кинетика насыщения фермента субстратами имела вид равнобочной гиперболы, поэтому константы Михаэлиса определяли по методу двойных обратных величин (координаты Лайнуивера – Берка) [23]. Каталитическую активность устанавливали на основании детекции окрашенных продуктов реакции при 25 °С. Субстратная смесь состояла из 0,05 мл 0,1% водного раствора АБТС (конечная концентрация 30 мкМ), 2,9 мл буфера, измерение оптической плотности проводят при длине волны 436 нм.

В реакции с пирокатехином для определения активности ПО используют 5% водный раствор пирокатехина в 0,1 М буфере Мак-Ильвейна (конечная концентрация 41,3 мМ). Определение активности проводят при длине волны 365 нм.

Для определения активности ПО в реакции с бензидином используют метод А.Н. Бояркова, разработанный впервые при использовании ФЭКа в 1951 г. [24]. Бензидиновый реактив включает два компонента [25]. Первый состоит из 50% спиртового раствора 0,1% бензидина солянокислого, содержащего 6% ацетата натрия, 3% уксусной кислоты. Конечная концентрация бензидина в реакционной смеси – 5,8 мМ. Вторым компонентом является 0,5% раствор пероксида водорода (конечная концентра-

ция 0,3 мМ). Значение рН бензидинового реактива составляет менее 2,0 единиц рН, а предварительные исследования выявили рН-оптимум действия ПО, равный 7,0. Поэтому первый компонент бензидинового реактива доводят до нейтрального значения рН растертым в порошок (для неизменности объема смеси) кристаллическим NaOH. Приготовленная таким образом основа бензидинового реактива может храниться в холодильнике при 0–4 °С в течение года. Для упрощения процедуры измерения активности ПО в кварцевую кювету вносят 3 мл первого компонента бензидинового реактива, предварительно согретого до комнатной температуры, и добавляют 18 мкл H_2O_2 . Измерения проводят при 520 нм.

Выявление изоферментного спектра пероксидаз

Изоферментный спектр ПО выявляют с использованием бензидинового реактива, *o*-дианизидина, α -нафтола.

Состав и методика применения бензидинового реактива описаны выше.

Х.С. Рафиковым впервые был использован для выявления пероксидазной реакции гаптоглобина крови *o*-дианизидин [26]. В состав проявляющей смеси входят 50 мл воды, 1 г *o*-дианизидина, 2,5 мл CH_3COOH , 0,2 мл H_2O_2 . После появления оранжевых полос реакцию останавливают добавлением раствора 15% уксусной кислоты.

Для приготовления проявляющей смеси с α -нафтолом берут 1 мМ 1-нафтола в 0,1 М фосфатном буфере в присутствии 0,33 мМ перекиси водорода. Данный метод используется, в частности, в клиничко-диагностических лабораториях при цитохимическом диагностировании лейкозов [27].

Вертикальный электрофорез (ЭФ) проводят по стандартному методу Дэвиса в пластинах полиакриламидного геля (7,5% по акриламидной смеси) при 4 °С. К 0,05–0,2 мл ферментного образца добавляют в качестве антиконвекционной смеси глицерин до конечной концентрации 20%, в карман геля вносят 20 мкл пробы, в качестве лидирующего красителя используют бромфеноловый синий.

Выявление зон активности проводят по Левитесу [28], Божко [29], Рафикову [30], Юренковой [31, 32]. Гели высушивают на стеклянных пластинах, в целлофане (Балаково), в растворе спирт: глицерин (1:1), а затем сканируют с разрешением 300dpi на сканере HP Scanjet 3770 в окне для прозрачных материалов. Гели хранят в темноте.

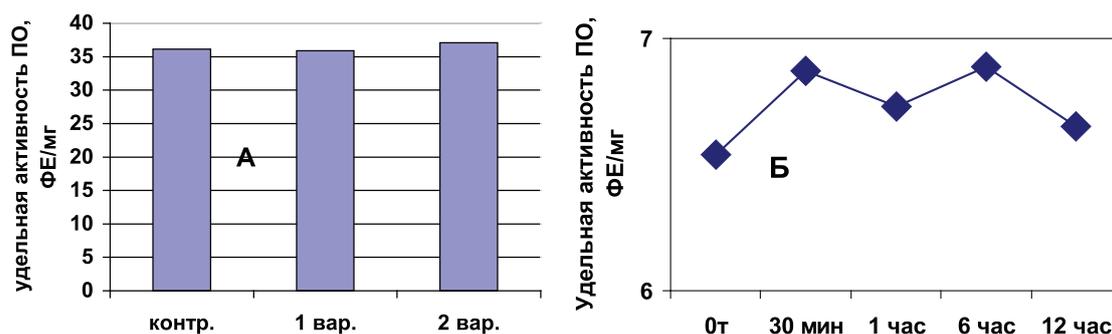


Рис. 1. Зависимость активности пероксидазы (А) от состава экстрагирующего буфера в хвое сосны обыкновенной и (Б) длительности экстракции ПО в листьях вяза обыкновенного (гладкого) *Ulmus laevis* L. Обозначения: А: контроль – экстракция в 0,1 М трис-НСl буфере, рН 7,0; 1 вар. – контроль + ЭДТА + меркаптоэтанол + КСl; 2 вар – 1 вар. + 5% поливинилпирролидон

Экстракция пероксидаз из различных тканей

Растительные пероксидазы высокостабильны, поэтому в состав экстрагирующего буфера входит только трис-НСl, рН 7,0. Добавление ЭДТА, меркаптоэтанола, хлорида калия, а также поливинилпирролидона не влияет на изменение активности фермента (рис. 1).

Кроме того, можно отметить нейтральное влияние длительности экстракции фермента (от 30 мин до 12 часов) из сосновой хвои, считающейся труднодоступной для извлечения ферментов, на активность ПО. Полученный после центрифугирования супернатант обнаруживал стабильную активность и неизменность изоформ ПО в течение по крайней мере недели, при этом хранение препарата осуществлялось при 0°C в присутствии 20% глицерина.

Нами было установлено, что оптимум рН для ПО из корневой губки в присутствии АБТС в цитратном, ацетатном и буфере Мак-Ильвейна сдвинут в кислую сторону (рН 4,5–5,5). В трис-НСl буфере в присутствии бензидина оптимум рН составляет 7,0–7,5, а в буфере Мак-Ильвейна в присутствии пирокатехина – 6,0–6,5. В буфере Мак-Ильвейна оптимум рН более широкий, и активность пероксидазы в этой системе в 1,3 раза выше по сравнению с цитратным буфером (рис. 2). Можно предположить, что такое увеличение активности фермента связано с присутствием ионов неорганического фосфора в составе буфера Мак-Ильвейна. Активность ПО в культуральном фильтрате (КФ) корневой губки ниже активности фермента в цитратном буфере в 9,7 раз.

В связи с этим было изучено влияние HPO_4^{2-} -ионов на активность ПО корневой

губки посредством добавления к цитратному буферу соли Na_2HPO_4 . Добавление 0,5 мМ соли приводит к падению активности фермента до ее уровня в КФ. Увеличение концентрации соли до 1,0 и 2,0 мМ повышало активность ПО до уровня ее показателей в цитратном буфере. Дальнейшее повышение концентрации ионов фосфора (3,0 мМ) приводит к падению активности фермента. Таким образом, действие буфера Мак-Ильвейна высокоспецифично и отличается от простого влияния ионов фосфора на активность энзима. Отмечено, что влияние фосфата натрия проявляется только в условиях буферной системы, а его добавление в концентрации 1 мМ непосредственно к культуральному фильтрату штаммов (контроль) приводило к полной потере активности ферментного препарата.

Наивысшая активность пероксидазы проявляется при молярности трис-НСl буфера (рН 7,0), составляющей 100 мМ и выше (рис. 3).

Методы определения активности пероксидаз

Принципы методов определения активности ПО основаны на появлении окрашенных продуктов при окислении субстратов под действием пероксидазы, регистрируемых по увеличению оптической плотности при соответствующей длине волны. Одной из важнейших характеристик любого фермента является специфичность его действия по отношению к субстрату. Анализ кинетических характеристик показал, что скорость окисления пирокатехина в КФ корневой губки (K_m 29 мМ) оказалась на порядок ниже скорости окисления АБТС (K_m 40–60 мкМ для разных штаммов), хотя

молекула пирокатехина (*o*-диоксибензол) является фенольным производным и по своему строению проще молекулы АБТС. Скорость окисления бензидина, измеренная в хвое сосны, почках дуба и микроклонах березы и сахарной свеклы, оказывается промежуточной: K_m в 0,1 М трис-НС1 буфере при pH 7,0 равна 0,3 мМ.

Чувствительность реакции очень высока, поэтому объем используемого ферментативного экстракта мал (1–10 мкл), а время измерения активности фермента составляет не более 3 мин. В случае обнаружения чрезмерно высокой ферментативной активности препаратов их разбавляют 0,1 М трис-НС1 буфером, pH 7,0 для сохранения нормальных кинетических кривых или используют удвоенное количество перекиси водорода (36 мкл). Бензидиновый метод определения активности ПО представляется оптималь-

ным в силу ряда причин: длительного хранения базового реактива (около года при 0 °С), оптимальных условий pH, доступности компонентов и простоты измерения.

Анализ изоферментного спектра пероксидаз

а) Проявление с использованием *бензидина*

Для выявления изоформ пероксидазы растительного происхождения применяют бензидиновый реактив при pH 7,0. Перед окрашиванием геля компоненты бензидинового реактива смешивают в соотношении 1:1. После заливки геля бензидиновым реактивом окраска зон пероксидазной активности проявляется в зависимости от количества нанесенного фермента в течение 5–130 минут (рис. 4–6). Иногда гель оставляют в проявляющем растворе на ночь в темноте.

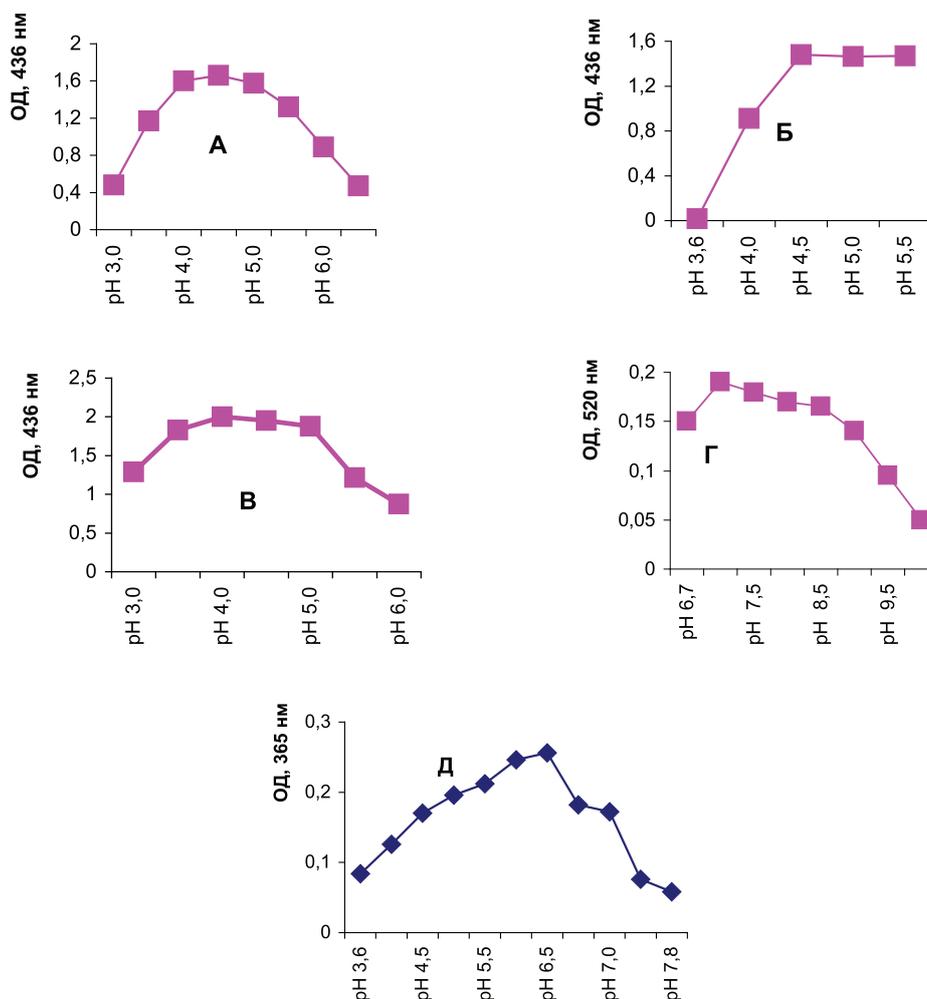


Рис. 2. pH-зависимость активности пероксидазы корневой губки в различных буферных системах. Обозначения: А – цитратный буфер; Б – ацетатный буфер; В, Д – буфер Мак-Ильвейна; Г – трис-НС1 буфер; А–В – субстрат АБТС, культуральный фильтрат корневой губки, Г – субстрат – бензидин, листья березы повислой *in vitro*, Д – субстрат пирокатехин; молярность всех буферов – 0,1 М

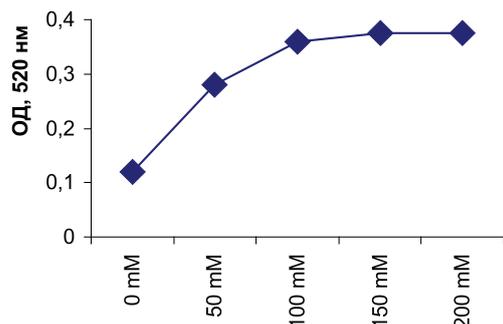


Рис. 3. Влияние молярности трис-НС1 буфера (рН 7,0) на активность пероксидазы из листьев березы повислой *in vitro*

Выявление изоформ пероксидазы бензидиновым методом позволяет получить достаточно широкий спектр зон фермента.

Этот метод, однако, не подходит для выявления зон гаптоглобина сыворотки крови, т.к. не выявляет всех изоформ фермента [33]. Поэтому для выявления фенотипов гаптоглобина использовали еще два метода.

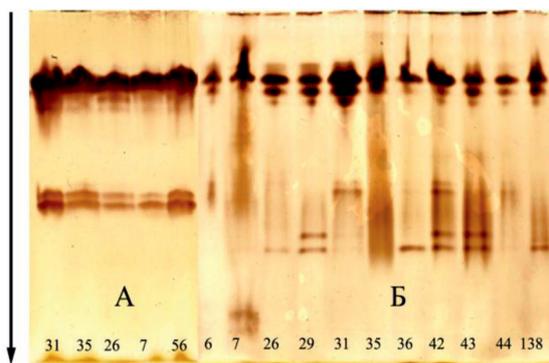


Рис. 4. Изоферментный спектр ПО в зимних почках (А; февраль) и распускающихся листьях (Б; март, образование на почках зеленого конуса) дуба черешчатого [34]. Плюсовые деревья Шиповой дубравы, Воронеж

По первому из них, предложенному Г.Х. Божко с соавт. [29], проявление геля проводят с использованием бензидинового реактива, исключающего присутствие спирта и уксуснокислого натрия: пластины геля выдерживают в течение 10 мин в 0,1 % бензидине в 10 % уксусной кислоте, после чего гели перемещают в кюветы с 0,03 % раствором перекиси водорода. Окраска ферментативных полос стремительно развивается, но после промывания в воде синяя окраска фермента переходит в коричневую, становится нестабильной, а гели – непригодными для сушки.

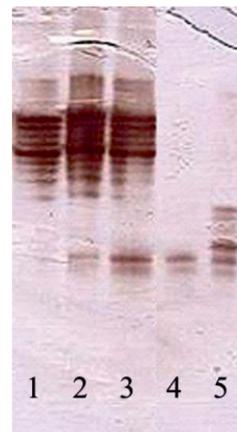


Рис. 5. Peroксидазный спектр растений-регенерантов березы различного происхождения в культуре *in vitro* [35]. Обозначения: 1–4 – карельская береза, узорчатая форма; 2 и 3 – карельская береза, триплоидная узорчатая форма; 4 – карельская береза, безузорчатая форма; 5 – береза повислая; 1 – каллус с регенерирующими побегами; 2 – регенерант; 3 – каллус; 4 – регенерант без корней; 5 – регенерант без корней

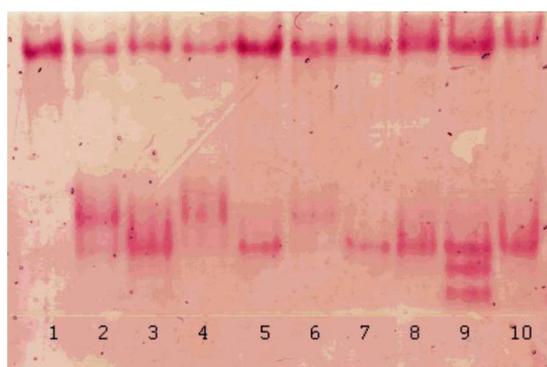


Рис. 6. Изоферментный спектр ПО в различных линиях трансгенной сахарной свеклы *in vitro* [36], выявленный с помощью бензидина. Обозначения: 1 – контроль; 2–10 – опыт

Другим способом выявления спектров гаптоглобина по пероксидазной активности является метод, предложенный Х.С. Рафиковым [30]. Он включает выдерживание гелей в растворе, содержащем 50 мг бензидина, 135 мг гваякола, 25 мл 10 % уксусной кислоты, перед применением раствор разводят водой в соотношении 1:5. К 10 мл бензидин-гваяколовому реактиву добавляют дополнительно 1 мл 0,2 М ацетата натрия, 0,1 мл 5 мМ сульфата марганца и 1 каплю 50 % перекиси водорода. Время проявления составляет 10–20 мин. Реакцию останавливают 15 % уксусной кислотой. Учитывая сложность приготовления проявляющей смеси, в даль-

нейшем стали применять *o*-дианизидин, который обычно используют для выявления активности фермента в культуральной жидкости дереворазрушающих и других грибов – представителей белой и коричневой плесеней [33]. Исходя из литературных данных, проявляющая смесь для выявления пероксидазной активности для сыворотки крови состоит из 1 г *o*-дианизидина, 2,5 мл уксусной кислоты, 0,2 мл перекиси водорода в 50 мл воды. Зоны фермента приобретали красный цвет на фоне темно-вишневого фона геля (рис. 7).

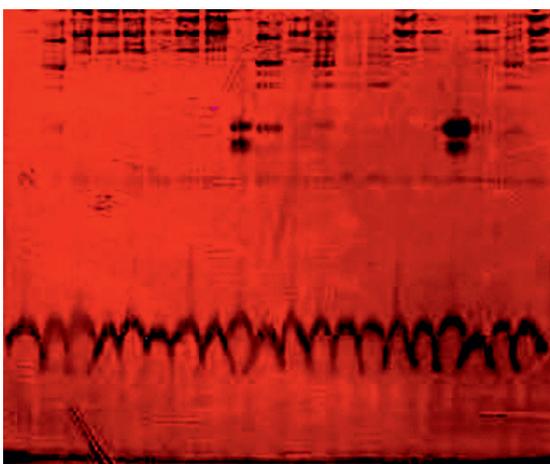


Рис. 7. Электрофореграммы гемоглобинов сыворотки крови у 20 человек, больных артериальной гипертензией [37]. Обозначения: Типы гемоглобинов: Нр 1–1 – дорожки (слева направо) 1, 3–8, 11, 15–16, 18, 20; Нр 1–2 – дорожки 2, 10, 12–14, 19; Нр 2–2 – дорожки 9, 17

Способ выявления изоформ ПО с помощью *o*-дианизидина применялся нами и для сравнения спектра фермента из спящих и пробуждающихся почек дуба черешчатого. Результаты приведены на рис. 8.

В руководстве Левитаса [28] описан метод выявления изоформ ПО с помощью 0,1 М гваякола (100 мл) в сочетании с 1–3 мл 3% перекиси водорода. Однако автор указывает, что окраска нестойкая. Этот же автор описывает и бензидиновый способ проявления гелей на ПО-активность при pH 5,0, при этом гель фиксируют в метаноле.

Кроме того, существует способ выявления активности пероксидазной активности в гелях, описанный в статье С.И. Юренко-вой с соавт. [31] для электрофоретического выявления изоформ цитохром-*c*-оксидазы. Реакционная смесь для выявления зон фермента включает 1 мл 2% спиртового раствора 1-нафтола, 25 мл водного раствора диметил-*n*-фенилендиамина солянокислого (20 мг), 0,1 М фосфатный буфер, pH 7,4 до 50 мл. Однако при проявлении гелей на цитохром-*c*-оксидазу выявлялись полосы активности, совпадающие с таковыми при выявлении пероксидазной активности. Такие результаты были получены у почек дуба черешчатого, а также у микроклонально размноженных растений вейгелы цветущей «вариегата», адаптированных к медному и солевому стрессу в ходе длительной ступенчатой адаптации на протяжении 120 суток (рис. 9).

Полученные результаты позволяют нам предположить, что 1-нафтол в данном методе является субстратом для проявления активности ПО, а не цитохром-*c*-оксидазы.

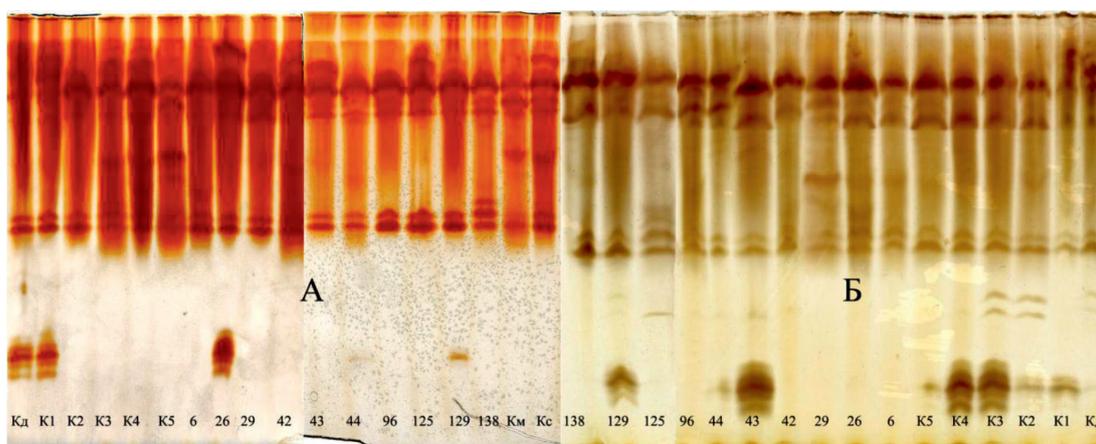


Рис. 8. Изоферментный спектр ювенильных листьев дуба черешчатого [36]. Обозначения: А – выявление изоформ ПО с помощью *o*-дианизидина; Б – выявление изоформ ПО с помощью бензидина; Кд – дерево колонновидной формы кроны из Семилукского питомника; К – контрольные деревья; № 6 – № 138 – плюсовые деревья дуба черешчатого позднораспускающейся фенотипа

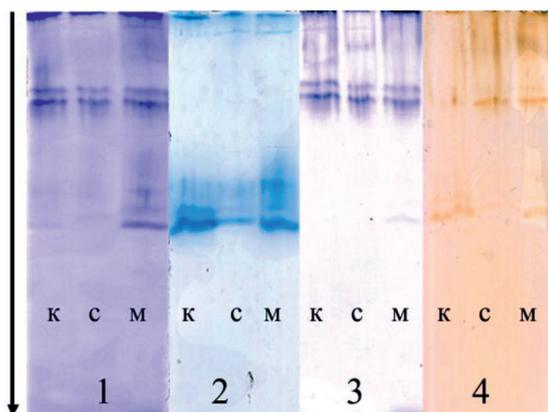


Рис. 9. Изоферментный спектр пероксидазы в микроклонах вейгелы цветущей «вариегата», адаптированных к солевому и медному стрессам. Обозначения: 1 и 2 – 40 и 120 суток адаптации, субстрат – 1-нафтол в фосфатном буфере; 3 и 4 – 40 и 120 суток адаптации, субстрат – бензидин; к – контроль, с – соль, м – медь. Стрелкой указано направление движения тока при электрофорезе

Изоформы пероксидазы могут быть выявлены различными способами, но при этом надо учитывать, что спектры фермента получаются различными, что связано со скоростью утилизации субстрата теми или иными формами фермента. Представляется, что метод выявления активности фермента в гелях с помощью бензидина при pH 7,0 является более универсальным. При проявлении изоформ ПО с помощью *o*-дианизидина появляющиеся зоны менее стабильны, некоторые из них пропадают уже через несколько минут. Через сутки они практически полностью исчезают, тогда как в предыдущем случае, при правильном хранении, гели сохраняют окраску многие годы.

Таким образом, с помощью выявления изоформ ПО можно выявить отличия одного вида растений от другого, стадию регенерации растения, влияние стрессовых воздействий, онтогенетический возраст растения, независимо от того, древесное или травянистое растение берется для анализа.

Гаптоглобин является стрессовым белком крови человека и животных, обладающим пероксидазной активностью [38]. По его количеству можно определить степень тяжести заболевания [39]. Имеют значения и типы гаптоглобина: они связаны с определенным заболеванием. Выявление фенотипов гаптоглобина используется как для выбраковки больных животных, так и для получения потомства от генетически здо-

ровых родителей [40, 41]. При выявлении типов гаптоглобина также используется *o*-дианизидин.

Заключение

Таким образом, из проанализированных способов определения активности и выявления изоферментного спектра пероксидазы оптимальным представляется метод, основанный на применении бензидинового реактива в нашей модификации, связанной с повышением pH реактива до нейтральных значений (7,0), тогда как в классических методиках pH сильно-кислый (2,0). Для электрофоретического выявления изоформ фермента растений бензидиновый способ является наиболее удобным, дешевым, позволяющим получить стабильную окраску гелей.

Список литературы

1. Андреева В.А. Фермент пероксидаза: Участие в защитном механизме растений / В.А. Андреева. – М.: Наука, 1988. – С. 8–40.
2. Welinder K.G. Plant peroxidases. Their primary, secondary and tertiary structures, and relation to cytochrome c peroxidase // *European Journal of Biochemistry*. – 1985. – V. 151. № 3. – P. 497–504.
3. Zamocky M., Gasselhuber B., Furtmuller P.G., Obinger C. Turning points in the evolution of peroxidase-catalase superfamily: molecular phylogeny of hybrid heme peroxidases // *Cell. Mol. Life Sci.* – 2014. – V. 71. – P. 4681–4696.
4. Захарова Г.С. Пероксидаза из корней хрена. Модулирование свойств белковой глобулы и гема / Г.С. Захарова, И.В. Упоров, В.И. Тишков // *Успехи биологической химии*. – 2011. – Т. 51. – С. 37–64.
5. Полесская О.Г. Растительная клетка и активные формы кислорода: учебное пособие / О.Г. Полесская; под ред. И.П. Ермакова. – М.: КДУ, 2007. – 140 с.
6. Fattahi Neisiani F., Modareh Sanavy S.A.M., Ghanati F., Dolatabadian A. Effect of foliar application of pyridoxine on antioxidant enzyme activity, proline accumulation and lipid peroxidation of Maize (*Zea mays* L.), under water deficit // *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj*. – 2009. – V. 37. № 1. – P. 16–121.
7. Пролин и функционирование антиоксидантной системы растений и культивируемых клеток *Thellungiella salsuginea* при окислительном стрессе / Т.Н. Сошникова, Н.Л. Радюкина, Д.В. Королькова, А.В. Носов // *Физиология растений*. – 2013. – Т. 60, № 1. – С. 47–60.
8. Рубин Б.А. Физиология и биохимия дыхания растений: учеб. пособие для биол. специальностей ун-тов / Б.А. Рубин, М.Е. Ладыгина. – М.: Изд. Москов. ун-та, 1974. – 512 с.
9. Долгих Ю.И. Селекция на осмоустойчивость кукурузы *in vitro* и характеристика растений-регенерантов / Ю.И. Долгих, С.Н. Ларина, З.Б. Шамина // *Физиология растений*. – 1994. – Т. 41, № 1. – С. 114–117.
10. О возможности изменения кинетических характеристик Na^+ -АТФазы микроводоросли *Tetraselmis viridis* при адаптации ее к различным концентрациям NaCl / И.Г. Стриж, Л.Г. Попова, И.М. Андреев, Ю.В. Балнокин // *Доклады Академии наук*. – 2002. – Т. 383, № 1. – С. 120–123.
11. Yuan Huang, Zhilong Bie, Zhixiong Liu, Ai Zhen, Weijuan Wang. Protective role of proline against salt stress is partially related to the improvement of water status and peroxidase enzyme activity in cucumber // *Soil Science and Plant Nutrition*. – 2009. – V. 55. – P. 698–704.

12. Baysal Furtana G., Tipirdamaz R. Physiological and antioxidant response of three cultivars of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to salinity // *Turk. J. Biol.* – 2010. – V. 34. – P. 287–296.
13. Львов С.Г. Энзимология новообразований: межвузовский научно-тематический сборник / С.Г. Львов; под ред. А.М. Голубева. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1981. – С. 88–96.
14. Пигаревский В.Е. Гипотеза о резорбтивной клеточной резистентности как особой форме антимикробной защиты организма / В.Е. Пигаревский // *Архив патологии.* – 1992. – Т. 54, вып. 8. – С. 40–45.
15. Активность антиоксидантных ферментов крови при хронических поражениях печени / Б.Н. Матюшин, А.С. Логинов, Г.Н. Якимчук, В.Д. Ткачев // *Вопросы медицинской химии.* – 1995. – № 4. – С. 54–56.
16. Контбаева А.Е. Цитохимические показатели активности миелопероксидазы и содержания катехоламинов в крови родильниц, проживающих на территориях, прилегающих к Семипалатинскому ядерному полигону / А.Е. Контбаева, Л.Т. Базелюк // *Вопросы медицинской химии.* – 2002. – Т. 48, № 3. – С. 293–296.
17. Маслов А.К. Влияние корня хрена на функциональные способности фагоцитов, формулу крови и состояние печени мышей с экспериментальной лепрой / А.К. Маслов, С.А. Лужнова, О.В. Калянина // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины.* – 2002. – Т. 134, № 8. – С. 181–183.
18. Маслов А.К. Роль пероксидазы в патогенезе заболеваний и реализация ее фармакологической активности на примере экспериментальной лепры / А.К. Маслов // *Вестник новых медицинских технологий.* – 2007. – Т. 14, № 4. – С. 161–164.
19. Ferrer M.A., Pedreno M.A., Munoz R., Ros Barcelo A. Soluble peroxidase gradients in lupin hypocotyls and the control of the level of polarly transported indole-3-yl-acetic acid // *Journal of Plant Growth Regulation.* – 1991. – V. 10. – P. 139–146.
20. Alpeeva I.S., Castillo Leon J., Chubar T.A., Galaev I.Yu., Csoregi E., Sakharov I.Yu. Purification and substrate specificity of peroxidase from sweet potato tubers // *Proc. 6 Intern. Sym. Biotechnology – state of the art and prospects of development (Moscow, Russia, October 14–18, 2002).* – М., 2002. – P. 623.
21. Latger-Cannard V., Bardet V., Malet M., Lagrange M., Empereur F., Fenneteau O. Evaluation of peroxidase activity by alpha-naphthol/pyronine staining compared with benzidine staining in 101 acute leukemia cases // *Laboratory hematology: official publication of the international society for laboratory hematology.* – 2010. – V.16. № 4. – P. 76–82.
22. Симонова З.А. Активность пероксидазы *Betula pendula* как индикатор качества городской среды (на примере г. Саратова) / З.А. Симонова, Д.А. Чемаркин // *Фундаментальные исследования.* – 2013. – № 8–5. – С. 1097–1101.
23. Нельсон Д. Основы биохимии Ленинджера: в 3 т. Т. 2: Биоэнергетика и метаболизм / Д. Нельсон, М. Коок; пер. с англ. – М.: БИНОМ, 2014. – 636 с.
24. Рогожин В.В. Пероксидаза: строение и механизм действия / В.В. Рогожин, В.В. Верхотуров, Т.В. Рогожина. – Иркутск: Из-во ИГТУ, 2004. – 200 с.
25. Землянухин А.А. Практикум по биохимии: учебное пособие / А.А. Землянухин. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1993. – 188 с.
26. Рафигов Х.С. Выявление наследственных вариантов церуллоплазмина и гаптоглобина в сыворотке крови человека на одной фореграмме / Х.С. Рафигов // *Лабораторное дело.* – 1980. – № 4. – С. 253–254.
27. Latger-Cannard V., Bardet V., Malet M., Lagrange M., Empereur F., Fenneteau O. Evaluation of peroxidase activity by alpha-naphthol/pyronine staining compared with benzidine staining in 101 acute leukemia cases // *Lab. Hematol.* – 2010. – V. 16. № 4. – P. 76–82.
28. Левитес Е.В. Генетика изоферментов растений / Е.В. Левитес; отв. ред. С.И. Малецкий. – Новосибирск: Наука, 1986. – 145 с.
29. Применение диск-электрофореза в линейном градиенте концентрации полиакриламидного геля для одновременного фракционирования суммарных белков сыворотки крови, гаптоглобинов и липопротеидов / Г.Х. Божко, П.В. Волошин, Л.С. Костиюковская, В.М. Кулабухов // *Украинский биохимический журнал.* – 1983. – Т. 55, № 3. – С. 318–324.
30. Юренкова С.И. Онтогенетический полиморфизм изоферментных систем у льна-долгунца / С.И. Юренкова, В.В. Титок, Л.В. Хотылева // *Доклады Национальной академии наук Беларуси.* – 2001. – Т. 45, № 1. – С. 79–82.
31. Полиморфизм видов льна по изоферментным и метаболическим маркерам / С.И. Юренкова, С.В. Кубрак, В.В. Титок, Л.В. Хотылева // *Генетика.* – 2005. – Т. 41, № 3. – С. 334–340.
32. Изучение метаболизма плюсовых деревьев дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) / К.А. Карпеченко, И.Ю. Карпеченко, О.А. Землянухина [и др.] // *Фундаментальные исследования.* – 2013. – № 1–2. – С. 287–291.
33. Leontievsky A.A., Myasoedova N.M., Maltseva O.V., Termkhitarova N.G. Mn-dependent peroxidase and oxidase I of *Panus tigrinus* 8/18: purification and properties // *Biochemistry.* – М., 1990. – V. 55. – P. 1375–1380.
34. Активность и изомимный спектр пероксидазы клонов карельской березы, размноженных *in vitro* / О.А. Землянухина, О.С. Машкина, И.В. Саблина [и др.] // *Организация и регуляция физиолого-биохимических процессов: межрегион. сб. науч. раб.* – Воронеж: ВГУ, 2003. – С. 46–52.
35. Изучение биохимических особенностей трансгенных растений сахарной свеклы / О.А. Землянухина, Е.Н. Васильченко, Т.П. Жужжалова [и др.] // *Организация и регуляция физиолого-биохимических процессов: межрегион. сб. науч. раб.* – Воронеж: ВГУ, 2007. – С. 60–68.
36. Никитин А.В. Сравнение различных методических подходов в выявлении спектров гаптоглобина / А.В. Никитин, Л.И. Смышникова, О.А. Землянухина // *Организация и регуляция физиолого-биохимических процессов: межрегион. сб. науч. раб.* – Воронеж: ВГУ, 2000. – С. 85–88.
37. Определение количества и фенотипа гаптоглобинов у больных гипертонической болезнью / О.А. Землянухина, Ю.И. Чернов, Г.А. Батищева [и др.] // *Организация и регуляция физиолого-биохимических процессов: межрегион. сб. науч. раб.* – Воронеж: ВГУ, 2003. – С. 53–58.
38. Пospelova A.B. Гаптоглобины сыворотки крови, их свойства, структура и обмен / А.В. Пospelova, В.М. Родионов // *Успехи биологической химии.* – 1970. – Т. 2. – С. 128–148.
39. Логинов А.С. Частота фенотипов гаптоглобина у больных с хронически активными заболеваниями печени / А.С. Логинов, П.Е. Крель, Г.К. Гинтер // *Терапевтический архив.* – 1980. – Т. 52, № 7. – С. 43–46.
40. Ключников М.Т. Селен в профилактике бесплодия коров / М.Т. Ключников, Н.Ф. Ключникова // *Сб. науч. трудов ВАСХНИЛ.* – Хабаровск: Изд-во ДальНИИСХ, 1990. – С. 28–32.
41. Влияние гаптоглобина на иммунохимические свойства гемоглобина / А.П. Андреева, А.А. Левина, В.М. Белоостоцкий [и др.] // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины.* – 1971. – Т. 72, № 2. – С. 58–61.

References

1. Andreeva V.A. Ferment peroksidaza: Uchastie v zashhitnom mehanizme rastenij / V.A. Andreeva. М.: Nauka, 1988. pp. 8–40.
2. Welinder K.G. Plant peroxidases. Their primary, secondary and tertiary structures, and relation to cytochrome c peroxidase // *European Journal of Biochemistry.* 1985. V. 151. no. 3. pp. 497–504.
3. Zamocky M., Gasselhuber B., Furtmuller P.G., Obinger C. Turning points in the evolution of peroxidase-catalase superfamily: molecular phylogeny of hybrid heme peroxidases // *Cell. Mol. Life Sci.* 2014. V. 71. pp. 4681–4696.
4. Zaharova G.S. Peroksidaza iz kornej hrena. Modulirovanie svojstv belkovej globuly i gema / G.S. Zaharova, I.V. Uporov, V.I. Tishkov // *Uspeshi biologicheskoy himii.* 2011. T. 51. pp. 37–64.

5. Poleskaja O.G. Rastitelnaja kletka i aktivnye formy kisloroda: uchebnoe posobie / O.G. Poleskaja; pod red. I.P. Ermakova. M.: KDU, 2007. 140 p.
6. Fattahi Neisiani F., Modares Sanavy S.A.M., Ghanati F., Dolatabadian A. Effect of foliar application of pyridoxine on antioxidant enzyme activity, proline accumulation and lipid peroxidation of Maize (*Zea mays* L.), under water deficit // *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj*. 2009. V. 37. no. 1. pp. 16–121.
7. Prolin i funkcionirovanie antioksidantnoj sistemy rastenij i kultiviruemykh kletok *Thellungiella salsuginea* pri oksidativnom stresse / T.N. Soshnikova, N.L. Radjukina, D.V. Korolkova, A.V. Nosov // *Fiziologija rastenij*. 2013. T. 60, no. 1. pp. 47–60.
8. Rubin B.A. Fiziologija i biohimija dyhanija rastenij: ucheb. posobie dlja biol. specialnostej un-tov / B.A. Rubin, M.E. Ladygina. M.: Izd. Mosk. un-ta, 1974. 512 p.
9. Dolgih Ju.I. Selekcija na osmoustojchivost kukuruzy in vitro i harakteristika rastenij-regenerantov / Ju.I. Dolgih, S.H. Larina, Z.B. Shamina // *Fiziologija rastenij*. 1994. T. 41, no. 1. pp. 114–117.
10. O vozmozhnosti izmenenija kineticheskikh harakteristik Na⁺-ATFazy mikrovdorosli *Tetraselmis viridis* pri adaptacii ee k razlichnym koncentracijam NaCl / I.G. Strizh, L.G. Popova, I.M. Andreev, Ju.V. Balnokin // *Doklady Akademii nauk*. 2002. T. 383, no. 1. pp. 120–123.
11. Yuan Huang, Zhilong Bie, Zhixiong Liu, Ai Zhen, Weijuan Wang. Protective role of proline against salt stress is partially related to the improvement of water status and peroxidase enzyme activity in cucumber // *Soil Science and Plant Nutrition*. 2009. V. 55. pp. 698–704.
12. Baysal Furtana G., Tipirdamaz R. Physiological and antioxidant response of three cultivars of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to salinity // *Turk. J. Biol.* 2010. V. 34. pp. 287–296.
13. Lvov S.G. Jenzimologija novoobrazovaniy: mezhvuzovskij nauchno-tematicheskij sbornik / S.G. Lvov; pod red. A.M. Golubeva. Saratov: Izd-vo Sarat. un-ta, 1981. pp. 88–96.
14. Pigarevskij V.E. Gipoteza o rezorbtivnoj kletochnoj rezistentnosti kak osoboj forme antimikrobnoj zashhity organizma / V.E. Pigarevskij // *Arhiv patologii*. 1992. T. 54, vyp. 8. pp. 40–45.
15. Aktivnost antioksidantnykh fermentov krovi pri hronicheskikh porazhenijah pecheni / B.N. Matjushin, A.S. Loginov, G.N. Jakimchuk, V.D. Tkachev // *Voprosy medicinskoj himii*. 1995. no. 4. pp. 54–56.
16. Kontbaeva A.E. Citohimicheskie pokazateli aktivnosti mieloperoksidazy i soderzhanija kateholaminov v krovi rodilnic, prozhivajushhij na territorijah, prilgajushhij k Semipalatinскому jadernomu poligonu / A.E. Kontbaeva, L.T. Bazeljuk // *Voprosy medicinskoj himii*. 2002. T. 48, no. 3. pp. 293–296.
17. Maslov A.K. Vlijanie kornja hrena na funkcionalnye sposobnosti fagocitov, formulu krovi i sostojanie pecheni myshj s jeksperimentalnoj leproj / A.K. Maslov, S.A. Luzhnova, O.V. Kaljanina // *Bjulleten jeksperimentalnoj biologii i mediciny*. 2002. T. 134, no. 8. pp. 181–183.
18. Maslov A.K. Rol peroksidazy v patogeneze zabolovanij i realizacija ee farmakologicheskoy aktivnosti na primere jeksperimentalnoj leproj / A.K. Maslov // *Vestnik novykh medicinskih tehnologij*. 2007. T. 14, no. 4. pp. 161–164.
19. Ferrer M.A., Pedreno M.A., Munoz R., Ros Barcelo A. Soluble peroxidase gradients in lupin hypocotyls and the control of the level of polarly transported indole-3yl-acetic acid // *Journal of Plant Growth Regulation*. 1991. V. 10. pp. 139–146.
20. Alpeeva I.S., Castillo Leon J., Chubar T.A., Galaev I.Yu., Csoregi E., Sakharov I.Yu. Purification and substrate specificity of peroxidase from sweet potato tubers // *Proc. 6 Intern. Sym. Biotechnology state of the art and prospects of development (Moscow, Russia, October 14–18, 2002)*. M., 2002. pp. 623.
21. Latger-Cannard V., Bardet V., Malet M., Lagrange M., Empereur F., Fenneteau O. Evaluation of peroxidase activity by alpfa-naphtol/pyronine staining compared with benzidine staining in 101 acute leukemia cases // *Laboratory hematology: official publication of the international society for laboratory hematology*. 2010. V.16. no. 4. pp. 76–82.
22. Simonova Z.A. Aktivnost peroksidazy *Betula pendula* kak indikator kachestva gorodskoj sredy (na primere g. Saratova) / Z.A. Simonova, D.A. Chemarkin // *Fundamentalnye issledovanija*. 2013. no. 8–5. 1097–1101.
23. Nelson D. Osnovy biohimii Lenindzhera: v 3 t. T. 2: Bioenergetika i metabolizm / D. Nelson, M. Koks; per. s angl. M.: BINOM, 2014. 636 p.
24. Rogozhin V.V. Peroksidaza: stroenie i mehanizm dejstvija / V.V. Rogozhin, V.V. Verhoturov, T.V. Rogozhina. Irkutsk: Iz-vo IGU, 2004. 200 p.
25. Zemljanuhin A.A. Praktikum po biohimii: uchebnoe posobie / A.A. Zemljanuhin. Voronezh: Izd-vo VGU, 1993. 188 p.
26. Rafikov H.S. Vyjavlenie nasledstvennykh variantov cerryuloplazmina i gaptoglobina v syvorotke krovi cheloveka na odnoj foregramme / H.S. Rafikov // *Laboratornoe delo*. 1980. no. 4. pp. 253–254.
27. Latger-Cannard V., Bardet V., Malet M., Lagrange M., Empereur F., Fenneteau O. Evaluation of peroxidase activity by alpha-naphthol/pyronine staining compared with benzidine staining in 101 acute leukemia cases // *Lab. Hematol.* 2010. V. 16. no. 4. pp. 76–82.
28. Levites E.V. Genetika izofermentov rastenij / E.V. Levites; otv. red. S.I. Maleckij. Novosibirsk: Nauka, 1986. 145 p.
29. Primenenie disk-jelektroforeza v linejnom gradiente koncentracii poliakrilamidnogo gelya dlja odnovernennogo frakcionirovanija summarnykh belkov syvorotki krovi, gaptoglobina i lipoproteidov / G.H. Bozhko, P.V. Voloshin, L.S. Kostjukovskaja, V.M. Kulabuhov // *Ukrainskij biohimicheskij zhurnal*. 1983. T. 55, no. 3. pp. 318–324.
30. Jurenkova S.I. Ontogenicheskij polimorfizm izofermentnykh sistem u lna-dolgunca / S.I. Jurenkova, V.V. Titok, L.V. Hotyleva // *Doklady Nacionalnoj akademii nauk Belarusi*. 2001. T. 45, no. 1. pp. 79–82.
31. Polimorfizm vidov lna po izofermentnym i metabolicheskim markeram / S.I. Jurenkova, S.V. Kubrak, V.V. Titok, L.V. Hotyleva // *Genetika*. 2005. T. 41, no. 3. pp. 334–340.
32. Izuchenie metabolizma pljusovykh derevub duba chereschatogo (*Quercus robur* L.) / K.A. Karpechenko, I.Ju. Karpechenko, O.A. Zemljanuhina [i dr.] // *Fundamentalnye issledovanija*. 2013. no. 1–2. pp. 287–291.
33. Leontievskij A.A., Myasoedova N.M., Maltseva O.V., Termkhitara N.G. Mn-dependent peroxidase and oxidase I of *Panus tigrinus* 8/18: purification and properties // *Biochemistry*. M., 1990. V. 55. pp. 1375–1380.
34. Aktivnost i izozimnyj spektr peroksidazy klonov karelskoj berezy, razmnozhennykh in vitro / O.A. Zemljanuhina, O.S. Mashkina, I.V. Sablina [i dr.] // *Organizacija i reguljacija fiziologo-biohimicheskikh processov: mezhregion. sb. nauch. rab. Voronezh: VGU, 2003*. pp. 46–52.
35. Izuchenie biohimicheskikh osobennostej transgennykh rastenij saharnoj svekly / O.A. Zemljanuhina, E.N. Vasilchenko, T.P. Zhuzhzhhalova [i dr.] // *Organizacija i reguljacija fiziologo-biohimicheskikh processov: mezhregion. sb. nauch. rab. Voronezh: VGU, 2007*. pp. 60–68.
36. Nikitin A.V. Sravnenie razlichnykh metodicheskikh podhodov v vyjavlenii spektrov gaptoglobina / A.V. Nikitin, L.I. Smyshnikova, O.A. Zemljanuhina // *Organizacija i reguljacija fiziologo-biohimicheskikh processov: mezhregion. sb. nauch. rab. Voronezh: VGU, 2000*. pp. 85–88.
37. Opredelenie kolichestva i fenotipa gaptoglobina u bolnykh gipertonicheskoy boleznju / O.A. Zemljanuhina, Ju.I. Chernov, G.A. Batishheva [i dr.] // *Organizacija i reguljacija fiziologo-biohimicheskikh processov: mezhregion. sb. nauch. rab. Voronezh: VGU, 2003*. pp. 53–58.
38. Pospelova A.B. Gaptoglobiny syvorotki krovi, ih svojstva, struktura i obmen / A.B. Pospelova, V.M. Rodionov // *Uspehi biologicheskoy himii*. 1970. T. 2. pp. 128–148.
39. Loginov A.C. Chastota fenotipov gaptoglobina u bolnykh s hronicheskimi aktivnymi zabolovanijami pecheni / A.C. Loginov, P.E. Krel, G.K. Ginter // *Terapevicheskij arhiv*. 1980. T. 52, no. 7. pp. 43–46.
40. Kljuchnikov M.T. Selen v profilaktike besplodija korov / M.T. Kljuchnikov, N.F. Kljuchnikova // *Sb. nauch. trudov VASHNIL. Habarovsk: Izd-vo DalNIISH, 1990*. pp. 28–32.
41. Vlijanie gaptoglobina na immunohimicheskie svojstva gemoglobina / A.P. Andreeva, A.A. Levina, V.M. Belostockij [i dr.] // *Bjulleten jeksperimentalnoj biologii i mediciny*. 1971. T. 72, no. 2. pp. 58–61.

УДК 547.99:577.11

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ПОЛИСАХАРИДОВ МИКРОПОРОШКА ИЗ ТУНИКИ АСЦИДИИ ПУРПУРНОЙ

¹Пивненко Т.Н., ¹Позднякова Ю.М., ¹Есипенко Р.В., ²Петрова Е.С.

¹ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет»,
Владивосток, e-mail: tnpivnenko@mail.ru;

²ФГБНУ «Научно-исследовательский институт терапии и профилактической медицины»
(НИИТПМ), Новосибирск, e-mail: ekamo9@yandex.ru

Проведено сравнительное исследование методов обработки жестко структурированного экзоскелета (туники) асцидии пурпурной. Показано, что ее основой является целлюлозо-полисахаридный комплекс. При использовании щелочного гидролиза, ультразвуковой обработки и ферментализации происходит разрушение растворимых полисахаридов и удаление хитозана. Полученный продукт представляет собой крупнодисперсный порошок с размером частиц 0,5–1 мм, содержащий преимущественно целлюлозу. При использовании метода сверхтонкого измельчения образуется микропорошок с размером частиц 1–100 мкм. Кислоторастворимые полисахариды микропорошка составляют до 17% от общей массы, в их состав входят глюкоза, галактоза, фукоза, манноза и ксилоза. С использованием рекомбинантной эндо-1,3-β-D-глюкоказы показано наличие в кислоторастворимой фракции ламинарибиозы и ламинаритриозы, как структурных составляющих 1,3-β-D-глюкана. Щелочерастворимые полисахариды микропорошка туники составляют 35% от его массы, их моносахаридный состав представлен только глюкозамином. ИК-спектроскопия свидетельствует о наличии хитозана и сульфатных групп.

Ключевые слова: асцидия, целлюлоза, хитозан, β-D-глюкан, сверхтонкое измельчение

THE RESEARCH OF THE COMPOSITION AND PROPERTIES OF POLYSACCHARIDES FROM MICROPOWDER OF THE TUNICS OF PURPLE ASCIDIAN

¹Pivnenko T.N., ¹Pozdnyakova Yu.M., ¹Esipenko R.V., ²Petrova E.S.

¹Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, e-mail: tnpivnenko@mail.ru;

²Scientific Research Institute of Therapy and Preventive Medicine, Novosibirsk, e-mail: ekamo9@yandex.ru

A comparative study of methods of processing of rigidly structured exoskeleton (tunic) purple ascidian was provided. It was shown that it is based on cellulose-polysaccharide complex. After using alkaline hydrolysis, ultrasound and enzymatic hydrolysis the destruction of soluble polysaccharides and chitosan removal were observed. The obtained product is a coarse powder with a particle size of 0,5–1 mm, containing predominantly cellulose. When using the method of superfine grinding micropowder with a particle size of 1–100 μm was produced. Acid polysaccharides from micropowder make up to 17% of the total weight; it is composed from glucose, galactose, fukoza, mannose and xylose. With the use of the recombinant endo-1,3-β-D-glucanase there was shown presence of laminaribiose and laminaribiose as structural components of 1,3-β-D-glucan. Alkaline soluble polysaccharides was 35% of tunic micropowder weight, their monosaccharide composition represented only by the glucosamine. Infrared spectroscopy indicates the presence of chitosan and sulfate groups.

Keywords: ascidian, cellulose, chitosan, β-D-glucan, ultrafine grinding

В последние десятилетия большие усилия ученых были направлены на выделение и изучение биологически активных природных компонентов морских организмов. Относительно небольшое количество изученных до сих пор морских организмов позволило получить тысячи новых химических соединений. Необычные условия морской среды, связанные с ее химическим разнообразием, обеспечивают возможности выявления новых активных веществ, используемых для создания биоактивных препаратов [1].

Полисахариды морского происхождения находятся в настоящее время на пике исследовательской активности мировых научных центров. Тем не менее они остаются недостаточно используемыми и требуют

дальнейшего изучения для установления перспектив их потенциального применения. Имеются многочисленные данные о биологической активности полисахаридов морского происхождения, включая противоопухолевую, противовирусную, антикоагулянтную, антиоксидантную и противовоспалительную. Получение высококачественных препаратов непосредственно из морских объектов может быть сложным по своему технологическому воплощению. Для того чтобы использовать эти углеводы в БАД к пище, косметике и тем более в лекарственных средствах необходимы активные исследования [2].

Примером объектов подобных исследований могут служить морские животные, принадлежащие к семейству оболочников

Tunicates. Интерес к их изучению связан с решением проблем фармакологии, рынка функциональных пищевых продуктов (ФПП) и даже производства целлюлозных наноматериалов. Это определяется разнообразием состава полисахаридов и их производных, таких как целлюлоза, аминсахара, белково-полисахаридные комплексы, гликозаминогликаны, хитин и хитозан, склеропротеин [3–5]. Взрослые особи оболочников имеют целлюлозо-полисахаридную ткань, образующую экзоскелет, называемый туникой. Оболочники – единственные животные, которые синтезируют целлюлозу. До сих пор не существует единого мнения о структуре и составе туники оболочников. Большинство исследователей считают, что основой их жестко структурированного экзоскелета является целлюлоза (более 60% массы), имеющая высокую степень кристалличности [4]. По данным других авторов туника взрослой асцидии содержит в основном сульфатированный L-галактан, синтезируемый эпидермальными клетками [5].

В дальневосточных морях имеются значительные запасы асцидии пурпурной *Halocynthia aurantium*. Используемые части тела асцидии: мышечный мешок (мантия) – пищевой продукт в странах Юго-Восточной Азии, и внешняя защитная оболочка (туника) – источник БАВ. Туника содержит высокие концентрации каротиноидов – ксантофиллов, которые используются в виде БАД к пище, обладающей антиоксидантной, мембранотропной и иммуномодулирующей активностями [6]. После экстракции каротиноидов остается около 20% отходов, представляющих собой обезжиренную и обезвоженную тунику. Основными компонентами этого вторичного сырья являются полисахариды. При этом жесткая структура полученного полуфабриката не позволяет использовать его без дальнейшей обработки. Предлагаемые способы использования его в качестве нерастворимых пищевых волокон представляются недостаточно эффективными (из-за невысокой сорбционной емкости) и рациональными (из-за ограниченных возможностей проявления биологической активности материала, содержащего комплекс биоактивных полисахаридов).

В связи с вышеизложенным целью представленной работы явилась разработка способов переработки туники асцидии пурпурной, обеспечивающих возможности ее эффективного использования в пищевой промышленности, а также изучение состава и свойств полученного продукта.

Материалы и методы исследования

Материалом исследований служила туника асцидии пурпурной *Halocynthia aurantium*. Сырую тунику измельчали, обрабатывали ацетоном в соотношении 1:5, после удаления экстрагента высушивали. Определение воды и белка проводили по общепринятым методикам [7]. Содержание углеводов определяли антроновым методом. Содержание гексозаминов, хитина и целлюлозы, определяли стандартными методами, описанными в работе [6]. Выделение и количественное определение растворимых глюканов проводили согласно методу, предложенному Anno [8]. Определение содержания растворенных веществ проводили на рефрактометре «ИРФ-454Б № 821058». Содержание сульфат-ионов определяли турбидиметрически после гидролиза образцов в 4 н HCl, п осаждения ионов сульфата BaCl₂ и регистрации степени помутнения раствора при 405 нм.

Частичный кислотный гидролиз образцов проводили с помощью 0,5 н трифторуксусной кислоты (ТФУ) при 37 °С в течение 5 час. Полный кислотный гидролиз проводили 2 н ТФУ при 100 °С в течение 7 час. Щелочную экстракцию полисахаридов проводили 0,1 н NaOH при 37 °С в течение 14 час. Моносахаридный состав определяли на углеводном анализаторе «Biotronik IC-5000» (Германия), на колонке «Shim-pack ISA-07/S2504». Обнаружение проводили бицинхониатным методом. ИК-спектры полисахаридов регистрировали для КВг-таблеток образцов на спектрометре «Vector (Bruker) 22» (Германия). Для определения типа гликозидной связи между остатками глюкозы на образцы полисахаридов, действовали рекомбинантной эндо-1,3-β-D-глюкоказой из морской бактерии *Formosa algae* [9]. Анализ продуктов гидролиза проводили на колонке Zorbax-NH2 (4,6×250 мм, Германия) и хроматографе Agilent 1100. Детектирование осуществляли с помощью рефрактометра.

Результаты исследования и их обсуждение

Ранее было показано, что туницин, нерастворимая в щелочи волокнистая фракция, содержит не менее 60% целлюлозы от сухой массы туники, а высокая степень устойчивости туники к химическому и ферментативному гидролизу связана с высокой степенью кристалличности присутствующей в ней целлюлозы

и значительного количества протеогликанов, прочно с ней связанных [3]. Соответственно этому жесткая структура туники не позволяет выделить ее компоненты относительно мягкими способами, позволяющими сохранить нативную структуру и свойства, что является препятствием для их дальнейшего использования в качестве биоактивного ингредиента. В ряде работ приводится сравнение структурных образований туники с хитинглюкановым комплексом (ХГК) грибов и для их выделения применяют аналогичные приемы. Исходное сырье подвергают гидробаротермической обработке, варьируя давление, гидромодуль, температуру и концентрацию реагентов (NaOH, HCl, H₂O₂, Na₂CO₃) [10]. Это позволяет экстрагировать хитозан, но одновременно приводит к разрушению глюканов. Среди современных методов рекомендуют ультразвуковую (УЗ) обработку как способ снижения молекулярной массы полимеров путем расщепления отдельных химических связей [10]. Для удаления белковой составляющей ХГК используют ферментные препараты протеолитического и целлюлолитического действия [11]. Однако использование физико-химических и ферментативных методов, как по отдельности, так и при их комбинировании не позволяет существенно изменить свойства получаемых препаратов. Показана возможность применения таких препаратов в составе ФПП. Однако потенциал их биологической активности остается нераскрытым.

На первом этапе обработки туники обязательным условием является выделение концентрата каротиноидов органическими растворителями. В дальнейшем обезжиренную тунику подвергали последовательной обработке: 1 н NaOH при температуре 50 °С; УЗ обработке с помощью прибора Vibra-Cell при мощности излучения 130 ватт, частоте 20 кГц в течение 10 минут; гидролизу препа-

ратом «ЦеллоЛюкс» (содержит целлюлазу, ксиланазу и глюканазу).

Физико-химические свойства полученного таким способом препарата представлены в табл. 1. Несмотря на определенные изменения свойств, считать эти препараты, последовательно обработанные щелочью, УЗ и ферментами, удобными и усвояемыми организмом нельзя. Поэтому для механической активации сырья был использован метод сверхтонкого измельчения. Для этого использовали центробежную мельницу непрерывного типа «ТМ» (совместная разработка ИХТТМ СО РАН и ООО «Новиц»), которая позволяет достичь тонкого измельчения мягких веществ и сухого сырья, механической активации материалов в высокодисперсном состоянии. Размер частиц полученного порошка составил 1–100 мкм. Результаты исследований микропорошка из туники асцидии также представлены в табл. 1.

Как показывают результаты, представленные в табл. 1, после обработки щелочью, УЗ и ферментализации полученный препарат сохраняет в своем составе в основном (~ 80%) целлюлозу. Различия между крупноразмерным порошком и микропорошком туники свидетельствуют о сохранении соотношения природных компонентов, но обеспечивают в последнем случае более легкое извлечение и хитина, и глюканов. Известно, что ударно-истирающее воздействие, даже без добавок твердофазных химических реагентов, сопровождается изменением химического состава компонентов в результате разрыва ряда химических связей (даже таких прочных, как 3-гликозидные). Результатом механохимической обработки сырья является увеличение биологической доступности (в частности, водорастворимости) компонентов без участия растворителей в одну технологическую стадию [12].

Таблица 1

Физико-химические свойства препаратов из туники асцидии

Показатель	Обезжиренная туника	Обработка щелочью, УЗ, ферментализ	Микропорошок
Внешний вид	Чешуйки размером 1–3 мм	Крупнозернистый порошок, размер частиц 0,5–1 мм	Аморфный порошок, размер частиц 1–100 мкм
Белок, %	3,7 ± 0,7	2,0 ± 0,5	4,3 ± 0,5
Хитин, %	4,8 ± 0,5	1,5 ± 0,5	7,4 ± 0,6
Целлюлоза, %	61,3 ± 1,6	80,6 ± 4,3	62,6 ± 2,2
Глюканы, %	12,5 ± 1,1	2,2 ± 0,2	17,2 ± 1,9
Сульфат-ионы, %	3,7 ± 0,4	2,4 ± 0,7	4,6 ± 0,3

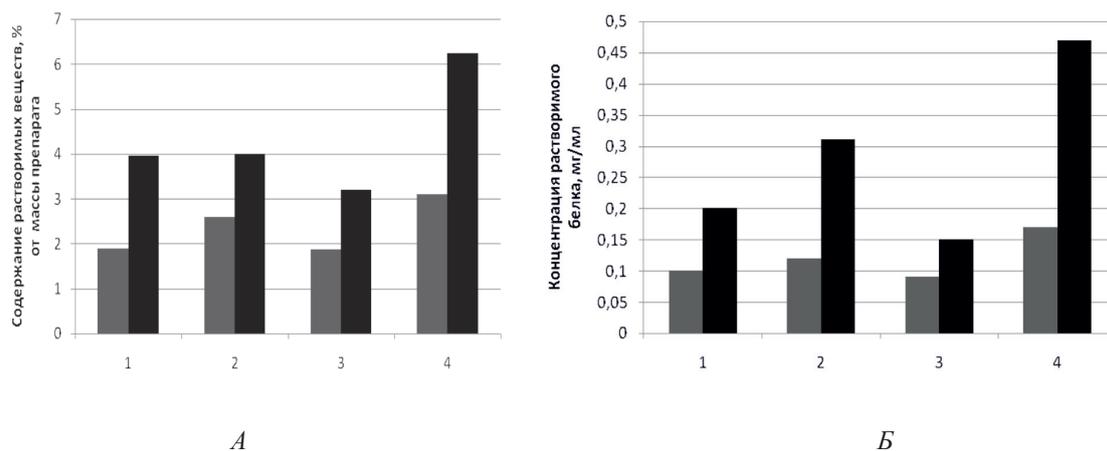


Рис. 1. Изменение растворимости препаратов из туники асцидии в разных средах после микроизмельчения. А – всех компонентов, Б – белка (1 – H₂O; 2 – 1 М NaCl; 3 – 0,2 н HCl; 4 – 1 н NaOH). Серый – после обработки щелочью, УЗ, ферментализа, черный – микропорошок

При исследовании растворимости полученного микропорошка из туники асцидии (рис. 1) было показано повышение концентрации компонентов в жидкой фазе после экспозиции в различных средах по сравнению с измельченной обезжиренной туникой, полученной обычным путем. При этом рассматривали в растворе общее содержание сухих веществ и белка, которые возрастали в 1,5–2 и 2–3 раза соответственно. Наибольшую растворимость микропорошка наблюдали в щелочной среде, наименьшую – в кислой. При этом накопление в жидкой фазе как общего числа растворенных веществ, так и белка имело общую тенденцию.

При проведении сравнительного анализа количественного и качественного состава полисахаридов и их моносахаридных составляющих в качестве пробоподготовки использовали кислотный и щелочной гидролиз. Полученные результаты представлены в табл. 2. Неполный кислотный гидролиз проводили с помощью 0,5 н ТФУ, в заданных условиях происходит отщепление молекул гликопротеинов и других комплексов легкогидролизуемых полисахаридов с выделением молекул полисахаридов. Увеличение концентрации ТФУ и температуры приводит к расщеплению полисахаридов до моносахаров. При мягком щелочном гидролизе 0,1 н NaOH происходит расщепление О-гликозидных связей, что позволяет выделить фракцию щелочерастворимых полисахаридов и также проанализировать их состав. Содержание кислоторастворимых полисахаридов в микропорошке туники составило 17,2%, среди входящих в их состав моносахаров преобла-

дала глюкоза, в значительно меньшем количестве обнаружены галактоза, фукоза, манноза и ксилоза. После экстракции микропорошка 0,1 н NaOH общее количество выделенных полисахаридов составило 34,8% от массы образца. При анализе их моносахаридного состава был обнаружен только один пик, соответствующий глюкозамину. Наиболее вероятно, что, при щелочной экстракции происходит высвобождение хитина.

Для определения типа гликозидной связи между остатками глюкозы, на полисахариды, полученные частичным кислотным гидролизом, подействовали рекомбинантной эндо-1,3-β-D-глюканазой из морской бактерии *Formosa algae*. Этот фермент предложено использовать для определения структуры β-1,3-глюканов [9]. В составе микропорошка туники асцидии обнаружен 1,3-β-D-глюкан в количестве 1,2%. На рис. 2 представлена хроматограмма разделения продуктов исчерпывающего гидролиза кислоторастворимых полисахаридов. При гидролизе эндо-1,3-β-D-глюканазами происходит резкое падение молекулярной массы полисахарида на начальных стадиях реакции, а конечными продуктами реакции являются олигосахариды с различной степенью полимеризации. Анализ продуктов исчерпывающего ферментализа этой фракции позволил обнаружить дисахарид ламинарибиоза и трисахарид ламинаритриоза, которые входят в состав 1,3-β-D-глюкана. Количественный расчет продуктов реакции показал, что они составляют 8,7% от фракции полисахаридов, взятой в ферментативную реакцию, или 1,2% от исходного образца.

Таблица 2

Состав и содержание полисахаридов и их мономеров
в микропорошке туники асцидии пурпурной

Полисахариды, % массы образца	Моносахариды, % от суммы					
	Кислотный гидролиз					
17,2 ± 1,9	Фукоза	Ксилоза	Манноза	Галактоза	Глюкоза	Глюкозамин
	3,6	0,7	3,9	6,3	85,6	0
Щелочной гидролиз						
34,8 ± 3,2	0	0	0	0	0	100

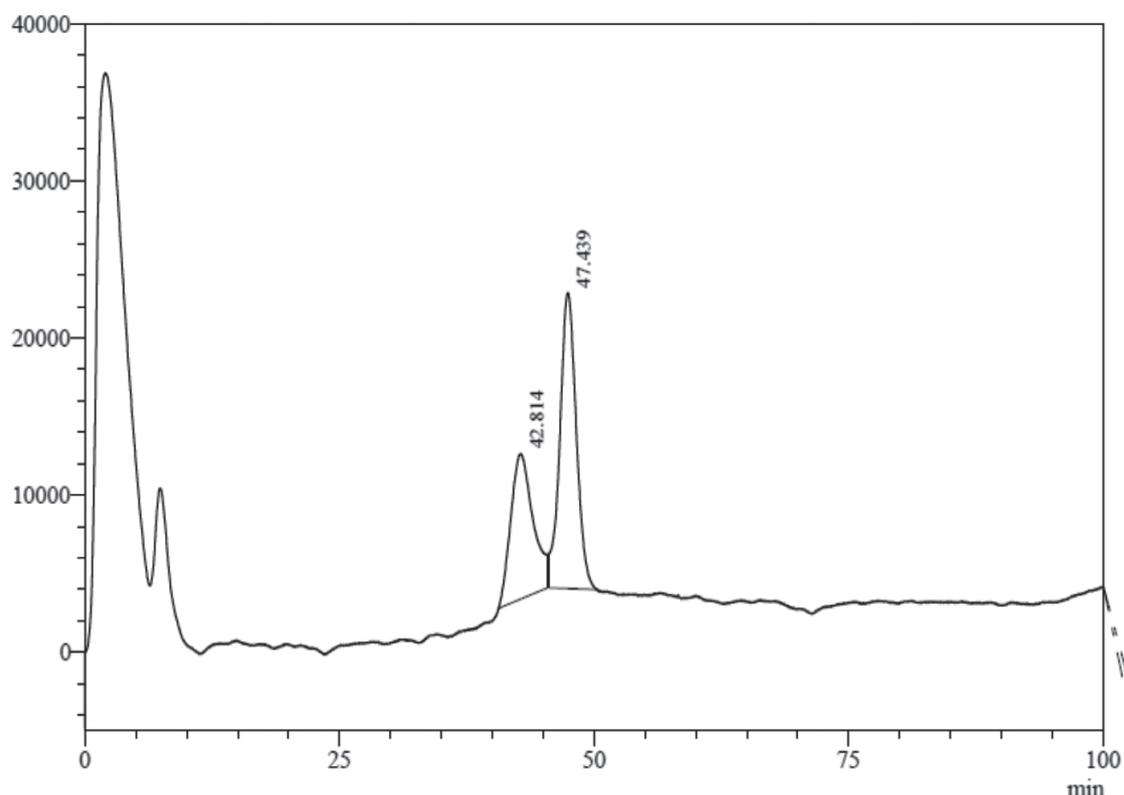


Рис. 2. ВЭЖХ продуктов исчерпывающего гидролиза кислоторастворимой фракции полисахаридов из туники асцидии пурпурной 1→3-*b*-D-глюкогалактозидазой из морской бактерии *Formosa algae*. Пик 1 – ламинарибиоза, пик 2 – ламинаритриоза

Ранее в тканях животных β-D-глюканы не были обнаружены. Содержание β-D-глюкана в зернах злаковых культур колеблется от 0,4 до 0,8%. Известно, что β-D-глюканы активируют местный иммунитет, защищая организм от вторжений антигенов, и системный иммунитет, уничтожая уже проникший внутрь организма чужеродный генетический материал, восстанавливая иммунный гомеостаз. Помимо выраженной

иммуномодуляции β-D-глюканы обладают антиоксидантной, противоопухолевой, противовоспалительной, противоаллергической активностью [13].

Для анализа компонентов щелочерастворимой фракции использовали ИК-спектроскопию, в исследуемом образце показано наличие специфических для хитозана полос в областях: 1384 см⁻¹ и более сглаженной структуры спектра при 1250 см⁻¹ (рис. 3).

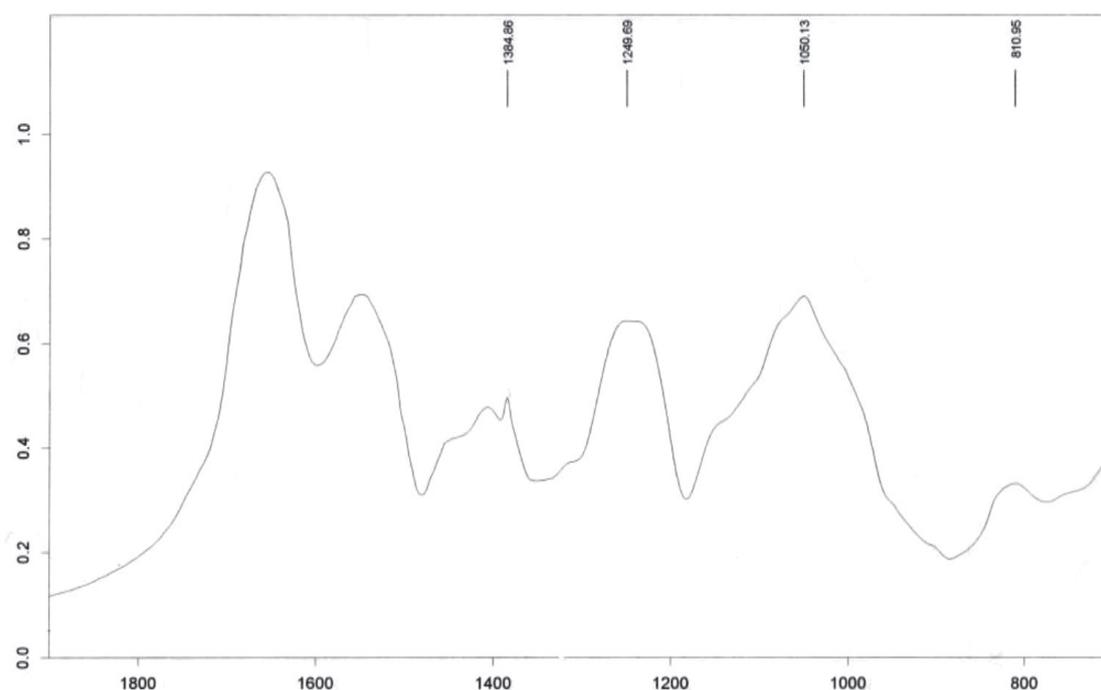


Рис. 3. ИК-спектр щелочерастворимой фракции углеводов микропорошка туники асцидии пурпурной

Аналогичные пики установлены для хитозана беспозвоночных и грибов. В ИК-спектрах исследуемого образца наблюдали поглощение при $1590\text{--}1750\text{ см}^{-1}$ (сопряжённые $\text{C}=\text{O}$ группы, валентные колебания), а пик поглощения при 1650 см^{-1} характерен для валентных колебаний $\text{C}=\text{O}$ в амидах. В областях поглощения 1249 см^{-1} ($\text{S}=\text{O}$ валентные колебания) и 810 см^{-1} ($\text{C}-\text{O}-\text{S}$ деформационные колебания), относящихся к области поглощения эфиров сульфата, наблюдали характеристические полосы. Области поглощения 1249 см^{-1} и 810 см^{-1} свидетельствуют о содержании сульфатных групп в образце.

Таким образом, результаты проведенных исследований полисахаридов туники *Halocynthia aurantium* согласуются с литературными сведениями о наличии в данной ткани уникальных по своему строению хитиноподобных сульфатированных полисахаридов, а также содержании целлюлозной составляющей, характерной для растительных организмов. Препараты из туники асцидии, прошедшие обработку методами щелочного гидролиза, УЗ и ферментативного гидролиза, содержат преимущественно целлюлозную составляющую, которую можно рассматривать в качестве нераство-

римых пищевых волокон. Наиболее целесообразно применение в составе БАД к пище и ФПП микропорошка из обезжиренной туники асцидии, содержащего в своем составе растворимые полисахариды, сульфатированный хитозан и бета-глюканы, обладающие широким спектром биологической активности.

Список литературы

- Blunt J., Copp B., Munso M., Marine natural products // Nat. Prod. Rep. – 2011. – V. 28. – P. 196–268.
- Laurienzo P. Marine polysaccharides in pharmaceutical applications: An overview // Mar. Drugs. – 2010. – V. 8. – P. 2435–2465.
- Masoumeh H. Unique marine organism: identification of same methods for biomaterial production // Chemical engineering transactions. – 2014. – V. 37. – P. 385–390.
- Zhang D., Zhang Q., Gao X., Piao G. A nanocellulose polypyrrole composite based on tunicate cellulose // International Journal Polymer Science. – 2013. – V. 2013. – P. 1–7.
- Belmiro C.L., Castelo-Branco M.T., Melim L.M., Schanaider, A. Unfractionated heparin and new heparin analogues from ascidians (chordate-tunicate) ameliorate colitis in rats // J. Biol. Chem. – 2009. – V. 284. – P. 11267–11278.
- Распределение, свойства и перспективы использования азотистых и углеводных соединений различных тканей дальневосточных асцидий / Т.Н. Пивненко [и др.] // Вестник биотехнол. и физ.-хим. биол. им. Ю.А. Овчинникова. – 2014. – Т. 10 (1). – С. 29–37.
- Лазаревский А.А. Техно-химический контроль в рыбообработывающей промышленности / А.А. Лазаревский. – М.: Пищепромиздат, 1955. – 518 с.

8. Anno K., Otsuka K., Seno N. A chitin sulfite-like polysaccharide from the test of the tunicate *Halocynthia roretzi* // *Biochem. Biophys. Acta.* – 1974. – V. 362. – P. 215–219.
9. Kusaykin M.I., Belik A.A., Kovalchuk S.N., Dmitrenok P.S. A new recombinant endo-1,3- β -D-glucanase from the marine bacterium *Formosa algae* KMM 3553: enzyme characteristics and transglycosylation products analysis // *World J. Microbiol Biotechnol.* – 2017. – V. 33(2). – P. 40–49.
10. Machova E., Kogan G., Soltes L. Ultrasonic depolymerization of the chitin-glucan isolated from *Aspergillus niger* // *Reactive & Functional Polymers.* – 1999. – V. 42. – P. 265–271.
11. Nwe N., Stevens W.F., Tokura S., Tamura H. Characterization of chitin and chitosan-glucan complex extracted from cell wall of fungus *Gongronella butleri* USDB 0201 by enzymatic method // *Enzyme and Microbial Technology.* – 2008. – V.42. – P. 242–251.
12. Душкин А.В. Возможности механохимической технологии органического синтеза и получения новых материалов / А.В. Душкин // *Химия в интересах устойчивого развития.* – 2004. – Т. 12. – С. 251–274.
13. Petravić-Tominac V., Zechner-Krpan V., Grba S., Srečec S. Biological effects of yeast β -glucans // *Agriculturae Conspectus Scientificus.* – 2010. – V. 75(4). – P. 149–158.
5. Belmiro C.L., Castelo-Branco M.T., Melim L.M., Schanider, A. Unfractionated heparin and new heparin analogues from ascidians (chordate-tunicate) ameliorate colitis in rats // *J. Biol. Chem.* 2009. V. 284. pp. 11267–11278.
6. Raspredelenie, svojstva i perspektivy ispolzovanija azotistyh i uglevodnyh soedinenij razlichnyh tkanej dalnevostochnyh ascidij / T.N. Pivnenko [i dr.] // *Vestnik biotehnol. i fiz.-him. biol. im. Ju.A. Ovchinnikova.* 2014. T. 10 (1). pp. 29–37.
7. Lazarevskij A.A. Tehno-himicheskij kontrol v rybobrabatvyvajushhej promyshlennosti / A.A. Lazarevskij. M.: Pishhepromizdat, 1955. 518 p.
8. Anno K., Otsuka K., Seno N. A chitin sulfite-like polysaccharide from the test of the tunicate *Halo-cynthia roretzi* // *Biochem. Biophys. Acta.* 1974. V. 362. pp. 215–219.
9. Kusaykin M.I., Belik A.A., Kovalchuk S.N., Dmitrenok P.S. A new recombinant endo-1,3- β -D-glucanase from the marine bacterium *Formosa algae* KMM 3553: enzyme characteristics and transglycosylation products analysis // *World J. Microbiol Biotechnol.* 2017. V. 33(2). pp. 40–49.
10. Machova E., Kogan G., Soltes L. Ultrasonic depolymerization of the chitin-glucan isolated from *Aspergillus niger* // *Reactive & Functional Polymers.* 1999. V. 42. pp. 265–271.
11. Nwe N., Stevens W.F., Tokura S., Tamura H. Characterization of chitin and chitosan-glucan complex extracted from cell wall of fungus *Gongronella butleri* USDB 0201 by enzymatic method // *Enzyme and Microbial Technology.* 2008. V. 42. pp. 242–251.
12. Dushkin A.V. Vozmozhnosti mehanohimicheskoy tehnologii organicheskogo sinteza i poluchenija novyh materialov / A.V. Dushkin // *Himija v interesah ustojchivogo razvitiya.* 2004. T. 12. pp. 251–274.
13. Petravić-Tominac V., Zechner-Krpan V., Grba S., Srečec S. Biological effects of yeast β -glucans // *Agriculturae Conspectus Scientificus.* 2010. V. 75(4). pp. 149–158.

References

1. Blunt J., Copp B., Munso M., *Marine natural products* // *Nat. Prod. Rep.* 2011. V. 28. pp. 196–268.
2. Laurienzo P. *Marine polysaccharides in pharmaceutical applications: An overview* // *Mar. Drugs.* 2010. V. 8. pp. 2435–2465.
3. Masoumeh H. *Unique marine organism: identification of same methods for biomaterial production* // *Chemical engineering transactions.* 2014. V. 37. pp. 385–390.
4. Zhang D., Zhang Q., Gao X., Piao G. *A nanocellulose polypyrrole composite based on tunicate cel-lulose* // *International Journal Polymer Science.* 2013. V. 2013. pp. 1–7.

УДК 543.421/.424: 577.29

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНФОРМАЦИОННОГО СОСТАВА α -АЛАНИНА В ГАЗОВОЙ ФАЗЕ

¹Тен Г.Н., ²Щербакова Н.Е., ³Баранов В.И.

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет
им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, e-mail: TenGN@yandex.ru;

²Российский научно-исследовательский противочумный институт «Микроб»,
Саратов, e-mail: hainl@yandex.ru;

³Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва

Выполнена интерпретация ИК-спектров трёх конформеров незаряженного α -аланина, имеющих разную ориентацию карбоксильной и аминной групп друг относительно друга и характеризующихся образованием внутримолекулярных водородных связей $\text{OH}\dots\text{O}$ и $\text{OH}\dots\text{N}$ в случае конформеров I и III соответственно. Конформер II может быть получен вращением связи OH конформера III относительно связи CO на 148 град. Энергии конформеров I и II выше на 1,44 и 2,44 ккал/моль энергии конформера III, что предполагает возможность их одновременного существования. Для определения конформационного состава Ala в газовой фазе был выполнен расчёт частот нормальных колебаний конформеров Ala в гармоническом и ангармоническом приближениях. Оптимизация геометрии и расчёт колебательных спектров проводился методом DFT в приближении B3LYP и базисного набора 6-311++g(d,p). Согласно выполненному расчёту существует ряд полос, появление которых нельзя объяснить наличием только одного конформера, например Ala I, в теоретическом спектре которого отсутствуют экспериментально наблюдаемые полосы поглощения в области 3500 и 1400 cm^{-1} . Кроме того, в вычисленных колебательных спектрах всех конформеров Ala отсутствует полоса поглощения с частотой 1590 cm^{-1} , наличие которой также фиксируется в экспериментальном спектре. Для определения конформационного состава Ala в газовой фазе был вычислен суммарный спектр, представляющий суперпозицию всех трёх конформеров со следующим процентным содержанием в смеси: 50% Ala I, 40% Ala III и 10% Ala II. Полученный суммарный вычисленный спектр хорошо согласуется с экспериментальным ИК-спектром Ala.

Ключевые слова: α -аланин, газовая фаза, ИК колебательный спектр, ангармоническое приближение, интерпретация, конформационный состав

DETERMINATION OF α -ALANINE CONFORMATIONAL COMPOSITION IN THE GAS PHASE

¹Ten G.N., ²Scherbakova N.E., ³Baranov V.I.

¹N.G. Chernyshevsky Saratov State University, Saratov, e-mail: TenGN@yandex.ru;

²Russian Research Anti-Plague Institute «Microbe», Saratov, e-mail: hainl@yandex.ru;

³V.I. Vernadskiy Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Performed was interpretation of IR spectra of the three conformers I, II, III of uncharged α -alanine with different orientation of the carboxyl and amine groups in relation to each other and characterized by the formation of intramolecular hydrogen bonds $\text{OH}\dots\text{O}$ and $\text{OH}\dots\text{N}$ in the case of conformers I and III, respectively. The conformer II can be obtained by revolving OH connection of conformer III with respect to CO connection through 148 deg. Energies of conformers I and II are 1,44 and 2,44 kcal/mol higher respectively than that of conformer III, which suggests the possibility of their simultaneous existence. To determine the conformational composition of Ala in the gas phase calculated were frequencies of normal vibrations of the conformers of Ala in harmonic and anharmonic approximations. Geometry optimization and calculation of vibrational spectra were carried out using DFT at the B3LYP approach and the basis set 6-311++g(d,p). According to the calculation, there exist a number of bands, the occurrence of which cannot be explained by the presence of only one conformer, such as Ala I, in the theoretical spectrum of which experimentally observable absorption bands in the region? 3500 and 1400 cm^{-1} are absent. In addition, in the calculated vibrational spectra of all Ala conformers absorption band with a frequency of 1590 cm^{-1} is absent, which is fixed in the experimental spectrum. To determine the conformational composition of Ala in the gas phase the total spectrum was calculated which represents the superposition of all three conformers with the following percentage in the mixture: 50% Ala I, 40% Ala III and 10% Ala II. The obtained total calculated spectrum is in good agreement with the experimental IR spectrum of Ala.

Keywords: α -alanine, gas phase, infrared vibrational spectrum, of anharmonic approximation, interpretation, conformational composition

Спектральное исследование колебательных спектров цвиттер-ионных форм α -аланина (Ala) для конденсированных состояний проводилось неоднократно – и экспериментально, и теоретически [1–5]. Одной из причин, не позволившей ранее уделить изучению ИК- и КР-спектров неза-

ряженных конформеров Ala в газовой фазе большего внимания, являлось отсутствие соответствующих экспериментальных спектров. Теоретические спектры, несмотря на высокий уровень прогнозирования расчётов колебательных спектров, выполненных с помощью современных программных

продуктов, таких как, например, Gaussian, без сравнения с соответствующими экспериментальными спектрами не давали возможности определить конформационный состав Ala в газовой фазе. Авторам работ [6, 7] удалось создать необходимые экспериментальные условия и выполнить регистрацию колебательных ИК Фурье-спектров некоторых аминокислот, в том числе и Ala, при температуре 520 К.

Цель данной работы – выполнить расчёт колебательных (ИК и КР) спектров трёх конформеров Ala в гармоническом и ангармоническом приближениях и провести интерпретацию колебательных спектров с целью определения качественного и количественного конформационного состава Ala в газовой фазе.

Оптимизация геометрии и расчёт колебательных спектров проводился по программе Gaussian-09 [8] с использованием метода DFT в приближении B3LYP и базисного набора 6-311++g(d,p).

Результаты исследования и их обсуждение

Молекулярные диаграммы трёх конформеров Ala, полученных в результате поворота фрагмента COOH относительно аминной группы NH₂, приведены на рис. 1, а вычисленные значения частот в гармоническом и ангармоническом приближениях – в табл. 1 и 2.

Разница энергий $\Delta E = E_{I,II} - E_{III}$ для конформеров Ala I и II по сравнению с энергией конформера Ala III, обладающего, как показал расчёт, наименьшей энергией среди конформеров I–III, составляет 1,44 и 2,44 ккал/моль соответственно, что предполагает возможность одновременного существования нескольких конформеров Ala в газовой фазе.

Для анализа смеси конформеров Ala в газовой фазе – выяснения качественного и количественного состава – был выполнен расчёт частот нормальных колебаний трёх конформеров Ala в гармоническом и ангармоническом приближениях.

Анализ форм нормальных колебаний Ala I, II и III показал, что имеются некоторые отличия в интерпретации колебаний 2–4, 8–12, 16–22 и 31–33, что связано с разным пространственным расположением аминной группы относительно связи OH. Например, возможное образование внутримолекулярной водородной связи N...HO в конформере Ala III приводит к понижению частоты валентного колебания связи OH на 285 см⁻¹, а частота деформационного колебания $\delta(\text{NH}_2)$ повышается на 25 см⁻¹ по сравнению с частотами аналогичных колебаний конформеров Ala I и Ala II (табл. 1).

В работе [6] интерпретация колебательного спектра Ala в газовой фазе была выполнена для Ala, структура которого отвечает конформеру Ala I, т.е. согласно авторам этой работы состав газовой фазы определяется только присутствием Ala I. Действительно, сравнение ИК-спектра Ala I (рис. 2, а) с экспериментальным ИК-спектром Ala, зарегистрированным в газовой фазе (рис. 3, а), показывает их достаточно хорошее согласие. В то же время существует ряд полос, появление которых нельзя объяснить присутствием в газовой фазе только одного конформера Ala I. Например, отсутствие в вычисленном ИК-спектре Ala I полос поглощения в области ~ 3500 и 1400 см⁻¹. Кроме того, в вычисленных спектрах всех конформеров Ala отсутствует полоса поглощения с частотой 1590 см⁻¹, присутствие которой фиксируется в экспериментальном спектре.

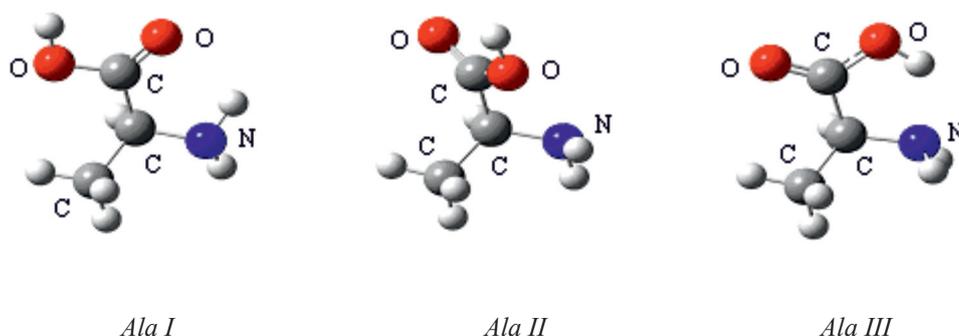


Рис. 1. Молекулярные диаграммы трёх конформеров Ala с обозначением атомов

Таблица 1

Вычисленные значения частот колебаний конформеров Ala в гармоническом ($\nu_{\text{гарм}}$, см^{-1}) приближении

№	Ala I		Ala II		Ala III	
	$\nu_{\text{гарм}}$	Отнесение	$\nu_{\text{гарм}}$	Отнесение	$\nu_{\text{гарм}}$	Отнесение
1	60	$\tau(\text{COOH})$	52	$\tau(\text{COOH})$	58	$\tau(\text{COOH})$
2	210	$\tau(\text{NH}_2)$	224	$\tau(\text{CH}_3)$	233	$\tau(\text{CH}_3)$
3	230	$\tau(\text{CH}_3)$	236	$\delta(\text{CCC})$	274	$\delta(\text{CCC})$
4	265	$\delta(\text{CCC})$	244	$\tau(\text{NH}_2)$	281	$\tau(\text{NH}_2)$
5	331	$\delta(\text{CCO})$	304	$\delta(\text{CCO})$	354	$\delta(\text{CCO})$
6	416	$\delta(\text{CCN})$	362	$\delta(\text{CCN})$	405	$\delta(\text{CCN})$
7	493	$\delta(\text{COO})$	528	$\delta(\text{COO})$	529	$\delta(\text{COO})$
8	559	$\tau(\text{C-O})$	585	$\tau(\text{C-O})$	567	$\delta(\text{COO})$
9	617	$\omega(\text{COO})$	608	$\delta(\text{COO})$	737	$\tau(\text{C-O})$
10	730	$\delta(\text{COO})$	769	$\omega(\text{COO})$	802	$\omega(\text{COO})$
11	797	$\nu(\text{C-COOH})$	786	$\nu(\text{C-COOH})$	846	$\omega(\text{NH}_2)$
12	825	$\omega(\text{NH}_2)$	835	$\omega(\text{NH}_2)$	880	$\nu(\text{C-COOH})$
13	938	$\nu(\text{C-CH}_3)$	913	$\nu(\text{C-CH}_3)$	935	$\nu(\text{C-CH}_3)$
14	1024	$\rho(\text{CH}_3)$	1021	$\rho(\text{CH}_3)$	1018	$\rho(\text{CH}_3)$
15	1102	$\rho(\text{CH}_3)$	1075	$\rho(\text{CH}_3)$	1074	$\rho(\text{CH}_3)$
16	1133	$\nu(\text{CN})$	1096	$\nu(\text{C-O})$	1142	$\nu(\text{CN})$
17	1185	$\nu(\text{C-O})$	1185	$\nu(\text{CN})$	1206	$\nu(\text{C-O})$
18	1233	$\tau(\text{NH}_2)$	1247	$\tau(\text{NH}_2)$	1231	$\tau(\text{NH}_2)$
19	1320	$\delta(\text{COH})$	1340	$\delta(\text{CH})$	1311	$\delta(\text{CH})$
20	1344	$\delta(\text{CH})$	1343	$\delta(\text{COH})$	1390	$\delta(\text{CH})$
21	1403	$\delta(\text{CH}_3) \text{ sym}$	1400	$\delta(\text{CH}_3) \text{ sym}$	1409	$\delta(\text{CH}_3) \text{ sym}$
22	1416	$\delta(\text{CH})$	1416	$\delta(\text{CH})$	1414	$\delta(\text{COH})$
23	1495	$\delta(\text{CH}_3) \text{ asym}$	1490	$\delta(\text{CH}_3) \text{ asym}$	1491	$\delta(\text{CH}_3) \text{ asym}$
24	1500	$\delta(\text{CH}_3) \text{ asym}$	1500	$\delta(\text{CH}_3) \text{ asym}$	1501	$\delta(\text{CH}_3) \text{ asym}$
25	1639	$\delta(\text{NH}_2)$	1635	$\delta(\text{NH}_2)$	1659	$\delta(\text{NH}_2)$
26	1808	$\nu(\text{C=O})$	1819	$\nu(\text{C=O})$	1835	$\nu(\text{C=O})$
27	2920	$\nu(\text{CH})$	3024	$\nu(\text{CH}_3) \text{ sym}$	3029	$\nu(\text{CH}_3) \text{ sym}$
28	3040	$\nu(\text{CH}_3) \text{ sym}$	3075	$\nu(\text{CH})$	3041	$\nu(\text{CH})$
29	3105	$\nu(\text{CH}_3) \text{ asym}$	3094	$\nu(\text{CH}_3) \text{ asym}$	3093	$\nu(\text{CH}_3) \text{ asym}$
30	3127	$\nu(\text{CH}_3) \text{ asym}$	3103	$\nu(\text{CH}_3) \text{ asym}$	3128	$\nu(\text{CH}_3) \text{ asym}$
31	3516	$\nu(\text{NH}_2) \text{ sym}$	3502	$\nu(\text{NH}_2) \text{ sym}$	3476	$\nu(\text{OH})$
32	3603	$\nu(\text{NH}_2) \text{ asym}$	3585	$\nu(\text{NH}_2) \text{ asym}$	3511	$\nu(\text{NH}_2) \text{ sym}$
33	3760	$\nu(\text{OH})$	3761	$\nu(\text{OH})$	3596	$\nu(\text{NH}_2) \text{ asym}$

Примечание. ν – валентные колебания связи; δ – деформационные колебания; ω – веерные, ρ – маятниковые и τ – крутильные колебания.

Для уточнения структурного состава Ala в газовой фазе был выполнен расчёт частот нормальных колебаний трёх конформеров Ala I, II, III в ангармоническом приближении, результаты которого отражены в табл. 2.

Как показывает сравнение вычисленных и экспериментальных частот в области

1000–1800 см^{-1} , в газовой фазе обязательно присутствие конформера Ala III, т.к. именно в спектре Ala III проявляется колебание 25 с частотой 1590 см^{-1} . Аналогичное сравнение в высокочастотной спектральной области 2000–4000 см^{-1} говорит о присутствии одного или обоих конформеров

Ala I и Ala II, т.к. колебательные спектры этих конформеров содержат колебание 33 с частотой 3575 см⁻¹. Экспериментальное колебание с частотой 1627 см⁻¹ может быть отнесено к составному колебанию 8 + 16 конформера Ala II. При этом интенсивность составного колебания сопоставима с интен-

сивностью основного колебания с частотой 1590 см⁻¹, что является следствием резонанса Ферми, приводящего к перераспределению интенсивностей между фундаментальными и составными колебаниями.

На рис. 2 приведены теоретические ИК-спектры таутомеров Ala I, Ala II и Ala III.

Таблица 2

Экспериментальные [6] ($\nu_{\text{эксп}}$, см⁻¹) и вычисленные значения частот и интенсивностей ИК-спектров ($I_{\text{р.ИК}}$, км/моль) конформеров Ala в ангармоническом ($\nu_{\text{ангарм}}$, см⁻¹) приближении

№	[6]	Ala I		Ala II		Ala III	
	$\nu_{\text{эксп}}$ ($I_{\text{отн}}$)	$\nu_{\text{ангарм}}$	$I_{\text{р.ИК}}$	$\nu_{\text{ангарм}}$	$I_{\text{р.ИК}}$	$\nu_{\text{ангарм}}$	$I_{\text{р.ИК}}$
1		56	1,0	45	1,0	22	0,8
2		223	37,5	274	10,1	221	0,3
3		242	6,5	243	0,3	256	14,7
4		272	0,5	290	269	200	12,7
5		336	0,1	303	12,4	341	11,3
6		411	13,1	357	5,6	408	4,2
7		494	9,1	522	9,4	520	1,5
8		562	38,9	556	73,1	568	4,0
9		609	65,9	594	54,6	728	9,7
10		721	54,4	752	59,1	788	7,1
11		774	57,4	769	14,9	746	111,2
12		615	105,8	587	135,2	825	77,4
13		912	4,0	889	16,6	907	39,1
14		1004	1,2	998	39,2	1000	0,9
15		1072	7,9	1040	17,2	1028	45,4
16	1114 (0,92)	1101	240	1065	119,1	1109	13,7
17		1150	73	1144	97,3	1160	26,7
18		1195	8,7	1208	34,2	1202	11,5
19		1262	24,0	1303	18,3	1268	6,7
20		1297	5,2	1279	26,9	1352	8,4
21		1364	8,5	1369	5,1	1374	17,8
22	1372 (0,2)	1380	4,2	1378	18,9	1360	378,2
23		1470	8,6	1476	3,3	1475	3,7
24		1484	10,2	1490	12,6	1486	11,3
25	1590 (0,15) 1627 (0,14)	1463	67,4	1477	38,5	1595	35,5
26	1785 (1,0)	1775	316,0	1785	341,1	1799	342,9
27		2788	44,8	2904	17,5	2901	12,6
28	2924 (0,17)	2903	19,8	2935	2,8	2907	14,0
29		2964	21,5	2951	23,3	2951	27,2
30	2991 (0,18)	2981	16,0	2960	27,6	2983	6,7
31		3373	4,7	3364	1,7	3203	288,9
32		3444	11,2	3423	4,7	3378	4,3
33	3575 (0,31)	3573	74,6	3558	72,4	3424	11,6

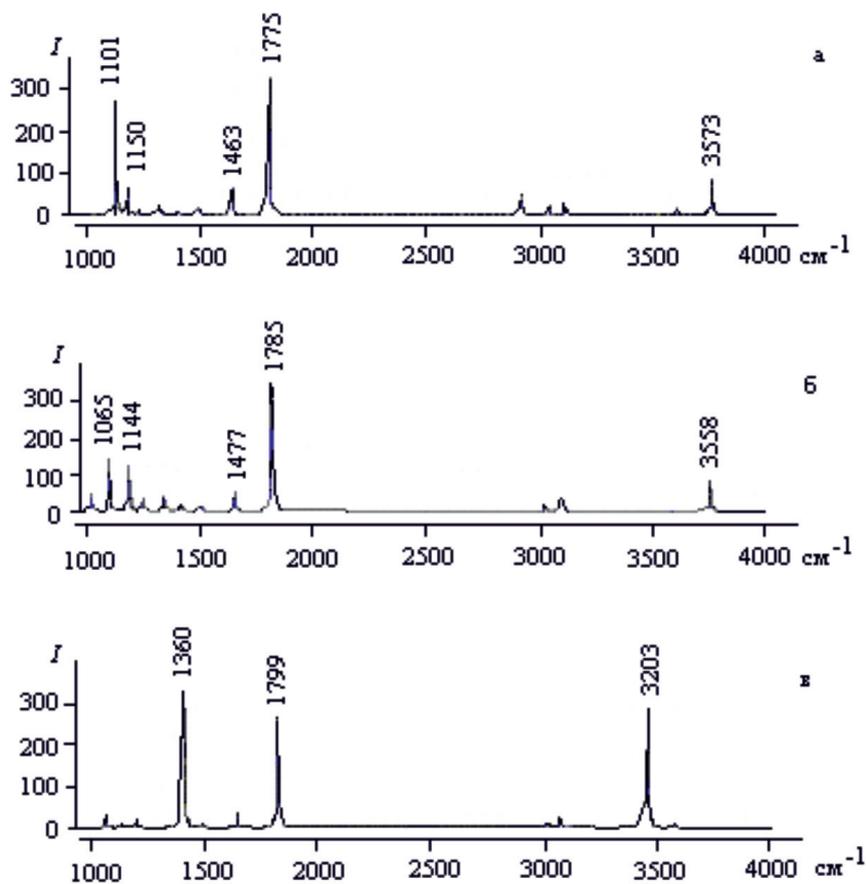


Рис. 2. ИК-спектры конформеров Ala I (а), Ala II (б) и Ala III (в)

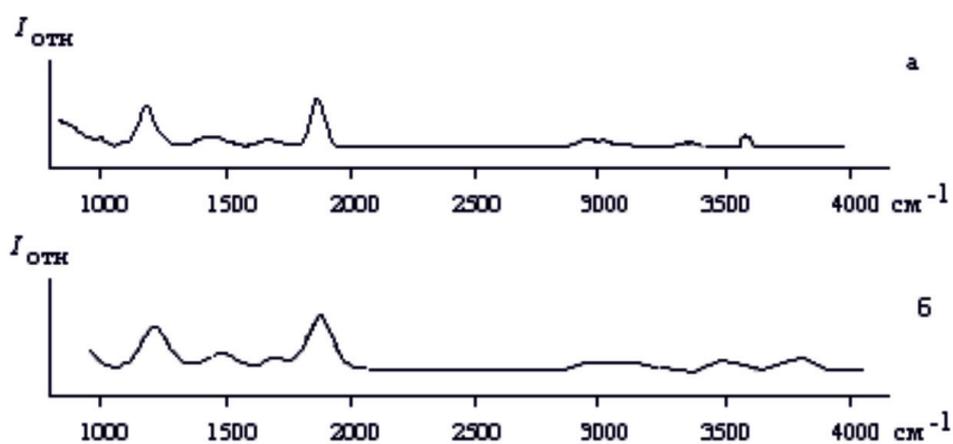


Рис. 3. Экспериментальный (а) [6] и вычисленный (б) ИК-спектр смеси конформеров Ala I (50%), Ala III (40%) и Ala II (10%)

Для определения конформационного состава Ala в газовой фазе был вычислен суммарный спектр, представляющий супер-

позицию спектров всех трёх конформеров со следующим процентным содержанием в смеси: 50% Ala I, 40% Ala III и 10% Ala II.

Точность определения конформационного состава составляет 3–5%. Полученный вычисленный спектр, хорошо согласующийся с экспериментальным ИК-спектром Ala (рис. 3, а), представлен на рис. 3, б.

Выводы

В данной работе было выполнено моделирование структуры и колебательных спектров трёх конформеров Ala I, II и III, энергии которых отличаются друг от друга на 1,44 и 2,44 ккал/моль, что предполагает возможность их одновременного существования в газовой фазе.

Расчёт частот нормальных колебаний конформеров Ala I, II и III в ангармоническом приближении позволил выполнить надёжную интерпретацию колебательно-го спектра и определить состав Ala в газовой фазе как смесь трёх конформеров Ala I (50%), Ala III (40%) и Ala II (10%). Полученный суммарный ИК-спектр находится в хорошем согласии с экспериментальным спектром поглощения Ala, зарегистрированным в газовой фазе.

Список литературы

1. Pearson J.F., Slifkin M.A. The infrared spectra of amino acids and dipeptides // *Spectrochim. Acta.* – 1972. – V. 28A. – P. 2403–2417.
2. Michaux C., Wouters J., Perpete E., Jacquemin D. Modeling the Microhydration of Protonated Alanine // *J. Phys. Chem. B.* – 2008. – V. 112. – P. 9896–9902.
3. Dokmaïsrïjan S., Lee V. S., Nimmanpipug P. The gas phase conformers and vibrational spectra of valine, leucine and isoleucine: An ab initio study // *J. of Mol. Structure: Theochem.* – 2010. – V. 953. – P. 28–38.
4. Hernandez B., Pfluger F., Nsangou M., Ghomi M. Vibrational Analysis of Amino Acids and Short Peptides in Hydrated Media. IV. Amino Acids with Hydrophobic Side

Chains: L-Alanine, L-Valine, and L-Isoleucine // *J. Phys. Chem. B.* – 2009. – V. 113. – P. 3169–3178.

5. Ten G.N., Kадров D.M., Баранов В.И. Влияние гидрофобного радикала на структуру и колебательные спектры цвиттер-ионных форм глицина и аланина в конденсированных состояниях. // *Журнал прикл. спектр.* – 2014. – Т. 81, № 2. – С. 178–186.

6. Linder R., Seefeld K., Vavra A., Kleinermanns K. Gas phase infrared spectra of nanoromatic amino acids // *Chem. Phys. Lett.* – 2008. – V. 453. – P. 1–6.

7. Linder R., Nispel M., Häber T., Kleinermanns K. Gas-phase. FT-IR-spectra of natural amino acids // *Chem. Phys. Lett.* – 2005. – V. 409. – P. 260–264.

8. Frisch M.J., Trucks G.W., Schlegel H.B. et al. Gaussian 09. – Gaussian Inc., Wallingford CT. 2009. – 394 p.

References

1. Pearson J.F., Slifkin M.A. The infrared spectra of amino acids and dipeptides // *Spectrochim. Acta.* 1972. V. 28A. P. 2403–2417.
2. Michaux S., Wouters J., Perpete E., Jacquemin D. Modeling the Microhydration of Protonated Alanine // *J. Phys. Chem. B.* 2008. V. 112. P. 9896–9902.
3. Dokmaïsrïjan S., Lee V. S., Nimmanpipug P. The gas phase conformers and vibrational spectra of valine, leucine and isoleucine: An ab initio study // *J. of Mol. Structure: Theochem.* 2010. V. 953. P. 28–38.
4. Hernandez B., Pfluger F., Nsangou M., Ghomi M. Vibrational Analysis of Amino Acids and Short Peptides in Hydrated Media. IV. Amino Acids with Hydrophobic Side Chains: L-Alanine, L-Valine, and L-Isoleucine // *J. Phys. Chem. B.* 2009. V. 113. P. 3169–3178.
5. Ten G.N., Kадров D.M., Баранов В.И. Влияние гидрофобного радикала на структуру и колебательные спектры цвиттер-ионных форм глицина и аланина в конденсированных состояниях. // *Zhurnal prikl. spektr.* 2014. T. 81, no. 2. pp. 178–186.
6. Linder R., Seefeld K., Vavra A., Kleinermanns K. Gas phase infrared spectra of nanoromatic amino acids // *Chem. Phys. Lett.* 2008. V. 453. P. 1–6.
7. Linder R., Nispel M., Häber T., Kleinermanns K. Gas-phase. FT-IR-spectra of natural amino acids // *Chem. Phys. Lett.* 2005. V. 409. P. 260–264.
8. Frisch M.J., Trucks G.W., Schlegel H.B. et al. Gaussian 09. Gaussian Inc., Wallingford CT. 2009. 394 p.

УДК 630*905

**ИЗУЧЕНИЕ И ОЦЕНКА ЛЕСНОГО ФОНДА ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ
ЗА ПЕРИОД С 1998 ПО 2016 ГГ.****Пак Л.Н.***ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН», Чита,
e-mail: pak_lar@bk.ru*

Представлен анализ динамики состояния лесного фонда Забайкальского края за восемнадцатилетний период с целью выявления устойчивых тенденций, оценки их состояния. Ретроспективное изучение материалов государственных учетов лесного фонда по Читинской области до 2008 г. (по состоянию на 1998, 2003 гг.) и государственных лесных реестров по Забайкальскому краю с 2008 г. по настоящее время (по состоянию на 2008–2016 гг.) позволило выявить положительные и отрицательные изменения в лесном фонде края. К позитивным тенденциям можно отнести: незначительное увеличение общей площади земель лесного фонда Государственной лесной службы Забайкальского края, площади лесных земель и покрытой лесом площади; сокращение фонда лесовосстановления; возрастание запаса и прироста насаждений. Негативные тенденции проявились: в сокращении земель, занятых лесными питомниками и плантациями; возрастании земель погибших древостоев, вырубок и прогалин; увеличении доли мягколиственных насаждений; нарушении возрастной структуры лесов; сохранении низкого среднего запаса древесины; снижении текущего прироста хвойных лесов и возраста насаждений; преобладании низкостойных и низкоплотных насаждений; в неравномерном размещении лесозаготовителей в регионе, слабой организации охраны лесов от пожаров и лесонарушений. Изменения состояния лесов Забайкальского края позволяют сделать вывод о развитии серьезного кризиса в лесном хозяйстве региона, о чем свидетельствует деградация структуры лесного фонда и снижение продуктивности хвойных лесов. Такая динамика не может считаться положительной независимо от того, какие функции выполняют леса. Дальнейшая хозяйственная деятельность в крае должна быть направлена на неистощимое использование лесных ресурсов, рациональное природопользование.

Ключевые слова: Забайкальский край, лесной фонд, площадь, запас, возраст, породный состав, прирост, насаждения

**STUDY AND EVALUATION OF THE FOREST RESERVES IN ZABAYKALSKY KRAI
FOR THE PERIOD FROM 1998 TO 2016****Pak L.N.***Institute of natural resources, ecology and cryology of SB RAS, Chita, e-mail: pak_lar@bk.ru*

The article presents an analysis of state dynamics of the forest reserves in Zabaykalsky Krai over the eighteen-year period and has the aim to identify sustainable trends and evaluate their condition. Retrospective study of materials of the forest reserves' state accounting in the Chita region until 2008 (as at 1998, 2003) and the state forest registers in Zabaykalsky Krai from 2008 to the present (as at 2008–2016) identified positive and negative changes in the Krai forest reserves. Positive trends include a slight increase in the total area of forest reserves' lands of the State forest service of Zabaykalsky Krai, the area of forest land and forested area; reduction in reforestation; increase in stock and plantings. Negative trends are in the reduction of nursery forest and plantations; increase in the dead forest stands, logged areas and glades; increase in the proportion of soft-leaved trees; violation in the age structure of forests; maintaining low average stock of wood; reduction in current addition of softwood forests and plants age; the prevalence of poor and incomplete forest stands; uneven location of loggers in the region, weak organization of forest fire protection and forest violations. Change in forest condition in Zabaykalsky Krai allows us to make a conclusion on serious crisis development in the forestry sector of the region, as evidenced by the degradation of forest reserves and reduction in softwood forests' productivity. Such dynamics cannot be considered positive regardless of the forest functions. Further economic activity in the region should be directed to the wasteless use of forest resources and its rational use.

Keywords: Zabaykalsky Krai, forest reserves, area, stock, age, species composition, growth, plantations

Забайкальский край относится к числу многолесных среди субъектов Российской Федерации. Площадь земель лесного фонда края и земель иных категорий, на которых расположены леса, – величина достаточно постоянная и по данным государственного лесного реестра на 01.01.2017 г. составляет 2,8% от общероссийской площади.

Общая площадь земель лесного фонда, находящаяся в ведении Государственной лесной службы Забайкальского края или Федерального агентства лесного хозяйства (Рос-

лесхоза), равна 32614,8 тыс. га, из которых 3,4% лесных земель Российской Федерации. На покрытые лесной растительностью земли от общероссийских приходится 3,6% с общим запасом древесины 3,2%. Остальная часть земель иных категорий (1451,2 тыс. га), на которых расположены леса, составляет 3,9% площади страны и находится в ведении обороны и безопасности (77,0%), населенных пунктов, на которых расположены леса (0,2%), особо охраняемых природных территорий (22,3%) и иных категорий (0,5%).

Средняя лесистость территории Забайкальского края соответствует 65,5%. Она изменяется в первую очередь в зависимости от природных факторов и снижается, как правило, в направлении с севера на юг. Согласно Приказу Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 18.08.2014 г. № 367 [1] на территории края выделяются две лесорастительные зоны (южно-сибирская горная и лесостепная) и четыре лесных района (байкальский горный лесной, забайкальский горно-мерзлотный, забайкальский горный лесной и забайкальский лесостепной). Лесистость по районам распределена крайне неравномерно: байкальский горный лесной – 45–55%, забайкальский горно-мерзлотный – 70–80%, забайкальский горный лесной – 12–18%, забайкальский лесостепной – 3–8%.

Кроме зональных факторов, на формирование лесной растительности, особенно в последние десятилетия, постоянно оказывает влияние широкомасштабная производственно-хозяйственная деятельность человека как прямого, так и косвенного характера (лесные пожары, нелегальные лесозаготовки, промышленное загрязнение, лесные вредители и болезни, сукцессии и т.д.) [2–6]. Что не может не сказаться на изменениях структуры лесного фонда края.

Цель настоящей работы – выявление устойчивых тенденций в изменениях ресурсов лесного фонда Забайкальского края, оценка их состояния.

Материалы и методы исследования

Одним из возможных способов получения реальных представлений о состоянии ресурсов лесного фонда, является анализ данных государственных учетов лесного фонда (ГУЛФ) и государственных лесных реестров (ГЛР).

Информационной основой для данной работы послужили сведения, полученные при ретроспективном изучении материалов ГУЛФ по Читинской области до 2008 г., проводимых один раз в пять лет (по состоянию на 1998, 2003 гг.), и ГЛР по Забайкальскому краю с 2008 г., проводимых ежегодно (по состоянию на 2008–2016 гг.).

Изучению подлежали такие показатели, как площадь насаждений и запас по категориям земель, преобладающим лесным породам и группам возраста; средний запас древесины на 1 га покрытой лесной растительностью земель; средний и текущий приросты; бонитет; полнота; возраст насаждений.

Разрозненность и несоответствие имеющихся данных, полученных из других источников, по учетным годам, начиная с проведения первого единовременного учета лесного фонда по стране Минлесхозом СССР в 1949 г. и заканчивая учетом лесного фонда, проводимым Минлесхозом РСФСР в 1993 г., не дают возможности их использования в этой статье и требуют более тщательного уточнения по архивным данным.

Результаты исследований и их обсуждение

За истекшие восемнадцать лет произошло некоторое увеличение (на 1,8%) общей площади земель лесного фонда Государственной лесной службы Забайкальского края, площади лесных земель (на 1,9%) и покрытой лесной растительностью земель (на 2,5%) (таблица).

В категории «покрытые лесной растительностью земли» в 1999–2008 гг. площадь максимально возросла (на 18,2%) за счет перевода земель из категории «несомкнувшиеся лесные культуры» в категорию «лесные культуры».

В целом за рассматриваемый период в категории «не покрытые лесом земли» существенно сократились площади земель, занятые несомкнувшимися лесными культурами (на 40%), лесными питомниками и плантациями (на 40%). Незначительно сократились площади земель, занятые естественными рединами (на 2,1%). Сохранение относительно высокой доли редины (54,3%) объясняется особенностью забайкальских лесов: большая их часть расположена на стыке участков тайги и тундры, тайги и степи. Они отражают естественные условия местопроизрастания в экстремальных природных условиях, не пригодных для произрастания сомкнутых продуктивных насаждений.

Площади так называемого «простоя» лесных земель, которые нуждаются в лесовосстановлении (гари, погибшие древостои, вырубки, прогалины) охватывают 44% в категории «не покрытые лесной растительностью земли». Их сокращение составило всего 18%. Причем, благодаря, уменьшению площади гарей (на 43,0%), которые в фонде лесовосстановления составляют 58,3%. По остальным категориям (погибшим древостоям, вырубкам и прогалинам) отмечалось возрастание площадей на 68,9%, 42,2% и 56,4% соответственно, что говорит об остроте проблем с вредителями и болезнями, вырубками, пожарами и лесовосстановлением.

Динамика общей площади земель лесного фонда Государственной лесной службы
Забайкальского края по годам учета и категориям земель

Наименование, тыс. га	Годы учета					Изменения за 1998–2016 гг., тыс. га %
	1998	2003	2008	2013	2016	
Общая площадь земель лесного фонда	32012,5	31308,2	31302,5	32614,6	32614,5	+602,0 +1,8
в том числе: площадь лесных земель	28875,4	28183,2	28183,8	29449,9	29442,9	+567,5 +1,9
из нее: покрытые лесной растительностью земли	27562,3	27028,9	27090,4	28262,8	28274,8	+712,5 +2,5
в том числе: лесные культуры	106,5	121,0	130,2	146,0	146,7	+40,2 +27,4
не покрытые лесной растительностью земли	1313,1	1154,3	1093,4	1187,1	1168,1	-145,0 -11,0
из них: несомкнувшиеся лесные культуры	31,2	31,6	22,4	20,4	18,7	-12,5 -40,0
лесные питомники, плантации	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	-0,2 -40,0
естественные редины	648,9	642,5	630,8	635,1	634,9	-14,0 -2,1
фонд лесовосстановления	632,5	479,7	439,7	531,2	514,2	-118,3 -18,7
в том числе: гари	526,5	399,4	332,4	332,9	299,8	-226,7 -43,0
погибшие древостои	12,6	25,2	34,4	49,9	40,6	+28,0 +68,9
вырубки	72,2	39,9	57,7	100,0	125,1	+102,9 +42,2
прогалины	21,2	15,2	15,2	48,4	48,7	+27,5 +56,4
площадь нелесных земель	3137,1	3125,0	3118,7	3164,7	3171,6	+34,5 +1,08

Наиболее полную оценку использования лесных земель дает уровень продуцирования покрытых лесом земель, который, в свою очередь, характеризуют насаждения, а именно доля хозяйственно ценных пород.

С учетом этого, за последние восемнадцать лет, несмотря на незначительное увеличение площадей хвойных насаждений (на 3,6%), их доля в площади земель, покрытой лесной растительностью, составляет всего 49%. Здесь наблюдается некоторое уменьшение площади ели и пихты (на 8,8%), кедра (на 1,3%).

Доля мягколиственных лесов возросла на 12,8%, причем отмечается достаточно существенное увеличение доли порослевых берез (на 12,9%) и осин (на 11,33%).

Площадь дуба монгольского, входящего в состав твердолиственных насаждений, сократилась незначительно (на 0,1%) благодаря выделенным категориям защитности, организации заказника «Реликтовые дубы» как одного из компонентов системы особо

охраняемой природной территории Верхнеамурского бассейна.

За восемнадцатилетний период в распределении лесов по возрасту отмечается асимметричность: среди хвойных – увеличение площади молодняков (на 12,2%), спелых и перестойных насаждений (на 7,8); мягколиственных – средневозрастных (на 13,9%), приспевающих (на 14,0%), спелых и перестойных насаждений (на 25,6%). В группе насаждений, находящихся в климаксом состоянии хвойных и мягколиственных лесов, 14,9% и 1,6% соответственно приходится на долю перестойных насаждений.

В возрастной структуре хвойных наблюдается следующее: площадь молодняков составляет 18,7%, средневозрастных насаждений 26,7%, приспевающих – 10,9%, спелых и перестойных – 43,5%. В целом отмечается общее снижение площадей, занятых средневозрастными (на 5,3%) и приспевающими (на 4,8%) насаждениями.

В возрастной структуре мягколиственных лесов площадь молодняков составляет 27,3 %, средневозрастных насаждений – 52,1 %, приспевающих – 8,3 %, спелых и перестойных – 12,1 %. Снижения по всем возрастным группам не наблюдается.

Изменение площади лесов по преобладающим породам и группам возраста оказало влияние и на динамику общего запаса насаждений, который в крае составляет 2482,8 тыс. м³. На долю спелых и перестойных насаждений приходится 46,1 %, из них 93,4 % – запасы хвойных лесов. За восемнадцатилетний период этот показатель увеличился на 4,7 %.

Критериями изменения состояния лесов Забайкальского края являются: средний запас древесины на 1 га покрытой лесной растительностью земель, а также средний и текущий приросты, определяющие успешность воспроизводства лесов.

За последние восемнадцать лет средний запас древесины увеличился на 3,2 %. Сейчас он по-прежнему остается низким и составляет около 91 м³. При этом средний запас спелых и перестойных лесов равен 126 м³. На долю хвойных лесов приходится 111 м³, из которых средний запас спелых и перестойных – составляет 127 м³. Средний прирост вырос на 21 %, из него 50,2 % приходится на прирост хвойных лесов. Сейчас они составляют 46,84 м³ и 23,3 м³ соответственно. Средний возраст насаждений и текущий прирост хвойных лесов снизился на 11 лет и 7,6 % соответственно.

Следует отметить, что производительность лесов края невысокая – преобладают насаждения III–V классов бонитета, полнотой 0,3–0,4 по хвойным и 0,6–0,7 – по лиственным лесам. Низкая полнота хвойных лесов свидетельствует о недостаточной насыщенности насаждений по густоте, их потенциальные лесорастительные возможности недоиспользуются.

По хвойным лесам наблюдается тенденция увеличения площадей, занятых насаждениями II и V классов бонитета, полнотой 0,5–0,6. По мягколиственным лесам – тенденция роста площадей, занятых насаждениями III–IV классов бонитета, полнотой 0,5–0,6. Причем за последние восемнадцать лет площади хвойных насаждений с полнотой 0,9–1,0 сократились на 4,1 %. Доля высокопроизводительных хвойных лесов с полнотой 0,8 и более, бонитетом I–II классов составляет всего 0,3 %.

В целом в положительной динамике общей площади земель лесного фонда Госу-

дарственной лесной службы Забайкальского края, площади лесных земель и покрытой лесом площади резких отрицательных изменений не наблюдалось. Незначительные потери площади этих земель ввиду передачи участков для нужд недропользования и строительства линейных сооружений, а также в результате уточнения площадей при лесоустройстве в 1999–2008 гг. были восполнены землями неудобными для сельскохозяйственного использования и землями сельхозформирований, деятельность которых в результате экономического кризиса была прекращена. С этого периода началось постепенное естественное зарастание земель, ранее занимаем выращиванием сельскохозяйственных растений, пастьбой скота и сенокосами, молодым хвойным лесом. Это способствовало незначительному увеличению доли хвойных лесов, и прежде всего сосновых и лиственничных насаждений. Их площадь была бы больше, если бы за рассматриваемый период не снизились объемы по выращиванию посадочного материала основных лесобразующих пород и созданию лесных культур.

Период 1999–2008 гг. отмечался возрастанием площади земель, занятых лесными культурами, благодаря наработкам сотрудников старой системы управления лесного хозяйства края, внедрению в производство технологий выращивания посадочного материала и создания лесных культур, разработанных для резко континентальных климатических условий края. Этот период был переходным моментом от ликвидации старой системы Управления лесного хозяйства Читинской области к образованию новой – Государственной лесной службы Забайкальского края. После этого и началось сокращение площади лесных питомников, предпочтение более дешевого и легкого способа лесовосстановления – проведения мер содействия естественному возобновлению леса и самозарастания. Причем самозарастание земель фонда лесовосстановления, как правило, проходит закономерно, со сменой хвойных пород на лиственные. Поэтому площадь мягколиственных насаждений возросла и превысила долю хвойных лесов. Значительное, продолжающееся увеличение доли второстепенных мягколиственных пород, снижение площади ели, пихты и кедра, расположенных в бассейне озера Байкал на территории Забайкальского края, свидетельствует об интенсивном освоении защитных лесов и замедленных

темпах естественного возобновления данных пород, об отсутствии целенаправленной лесной политики, направленной на сохранение и увеличение защитных и других экологических функций лесов. О слабом уровне управления лесами и ведения хозяйственной деятельности в них, вновь созданной системы, свидетельствует нарушение возрастной структуры лесов, которая далека от оптимальной. Нормальной возрастной структурой считается та, при которой доля спелых и перестойных насаждений не превышает 20–25 % покрытой лесной растительностью площади.

По хвойным лесам доля молодняков и средневозрастных насаждений свидетельствует об успешности естественного возобновления на непокрытых лесом площадях, в прошлом, находившихся в ведении Минсельхоза России, и не вызывает тревогу. Здесь обращает на себя внимание доля площадей, занятых приспевающими насаждениями, так как это потребует экономно использовать эксплуатационный фонд в течение длительного времени, до тех пор, пока не подрастут средневозрастные насаждения, иначе временно остановится лесопользование со всеми негативными последствиями, вытекающими из этого. Преобладание старых насаждений, очевидно, связано с их расположением в наиболее отдаленных, труднодоступных местах края, а также с систематической незаконной вырубкой лучших, высокопродуктивных средневозрастных и приспевающих насаждений, доля которых в настоящее время истощена. В дальнейшем такая динамика может привести к снижению возобновительных процессов, что исключит возможность восстановления леса естественным путем.

По мягколиственным лесам также вызывает опасение тенденция старения, ускоренное накопление спелых и перестойных насаждений, которые подвержены стволовой гнили, у них снижается прирост, они теряют технические качества, поступают в отпад и сгнивают. Это приводит к захламлению лесов, ухудшению их общего санитарного состояния. Результатом этого является низкий спрос и затруднение сбыта лиственной древесины.

Изменение площади лесов по преобладающим породам и группам возраста отразилось на продуктивности насаждений, измерителем которой является запас и прирост древостоя. Несмотря на то, что за истекший период, в динамике общего

и среднего запасов, среднего и текущего прироста насаждений отмечается тенденция в сторону незначительного увеличения, однако средний возраст насаждений и текущий прирост хвойных лесов заметно снижаются. Это свидетельствует о наличии серьезного кризиса, связанного со снижением древесно-сырьевого и экологического потенциалов лесов Забайкальского края.

Выводы

Изменения состояния лесов Забайкальского края позволяют сделать вывод о развитии серьезного кризиса в лесном хозяйстве региона, о чем свидетельствует деградация структуры лесного фонда и снижение продуктивности хвойных лесов. Такая динамика не может считаться положительной независимо от того, какие функции выполняют леса.

Список литературы

1. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации «Об утверждении перечня лесорастительных зон Российской Федерации и перечня лесных районов Российской Федерации» от 18.08.2014 г. № 367 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/ministry/64> (дата обращения: 18.08.17).
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Читинской области за 2003 г.». – Чита, 2004. – С. 24–25.
3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Забайкальском крае за 2008–2009 годы». – Чита, 2010. – С. 86–89.
4. Государственный доклад «Об экологической ситуации в Забайкальском крае за 2010 год». – Чита, 2011. – С. 97–99.
5. Государственный доклад «Об экологической ситуации в Забайкальском крае за 2011 год». – Чита, 2012. – С. 96–99.
6. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды российской федерации в 2015 году». – М., 2016. – С. 128–139.

References

1. Prikaz Ministerstva prirodnyh resursov i jekologii Rossijskoj Federacii «Ob utverzhenii perechnja lesorastitelnyh zon Rossijskoj Federacii i perechnja lesnyh rajonov Rossijskoj Federacii» ot 18.08.2014 g. no. 367 [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/ministry/64> (data obrashhenija: 18.08.17).
2. Gosudarstvennyj doklad «O sostojanii i ob ohrane okruzhajushhej sredy v Chitinskoj oblasti za 2003 g.». Chita, 2004. pp. 24–25.
3. Gosudarstvennyj doklad «O sostojanii i ob ohrane okruzhajushhej sredy v Zabajkalskom krae za 2008–2009 gody». Chita, 2010. pp. 86–89.
4. Gosudarstvennyj doklad «Ob jekologicheskoj situacii v Zabajkalskom krae za 2010 god». Chita, 2011. pp. 97–99.
5. Gosudarstvennyj doklad «Ob jekologicheskoj situacii v Zabajkalskom krae za 2011 god». Chita, 2012. pp. 96–99.
6. Gosudarstvennyj doklad «O sostojanii i ob ohrane okruzhajushhej sredy rossijskoj federacii v 2015 godu». M., 2016. pp. 128–139.

УДК 631.582/416.1

ВЛИЯНИЕ СЕВООБОРОТОВ НА ПРИРОДНО-РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА ПОЧВЫ И ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

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

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

В статье рассматриваются вопросы природно-ресурсного потенциала минерального азота, особенности его сезонной динамики под посевами озимой пшеницы в севооборотах разной продолжительности и состава в условиях гидротермических режимов засушливого Поволжья. Изучалась динамика содержания нитратного азота и нитрификационной способности почвы в период вегетации. Среднедолгосрочные данные указывают на высокую корреляцию климатических режимов и содержания нитратного азота и нитрификационной способности почвы в первой половине вегетации озимой пшеницы (0,65–0,92), а также отрицательное влияние высоких среднемаксимальных температур на поверхности почвы на реализацию потенциала минерального азота в период весенних засух ((–0,65)–(–0,73)). При относительно низкой среднемесячной температуре апреля 2016 г. (температура воздуха – 10 °С; верхнего 5 см слоя почвы – 13,5 °С) и первых двух декад мая (соответственно 14,7–13,6 °С и 17,6–15,8 °С) и повышенном количестве выпавших осадков в мае месяце (77,2 мм) запасы нитратного азота на период отрастания озимой пшеницы под севооборотами составляли в среднем 5,42 мг/кг почвы и достоверно снижались по мере выноса азота растениями до 1,53 мг/кг почвы. При достаточно высокой для зерновых нитрификационной способности почвы (в среднем по севооборотам от 10,81 до 13,37 мг/кг почвы) в первой половине вегетации отмечались интенсивный рост и развитие растений, что заложило благоприятные условия для формирования урожая (4,0–5,6 т/га). Отмечено положительное влияние многолетних трав на развитие нитрификационной способности почвы, что определило прогрессирующий по сравнению с другими севооборотами рост фитомассы с последующим формированием повышенного урожая озимой пшеницы. Установлено превышение содержания азота в зерне с 9-польного зернотравопарового севооборота.

Ключевые слова: климатические режимы, минеральный азот, нитрификация, севообороты, озимая пшеница

INFLUENCE OF CROP ROTATIONS ON NATURAL AND RESOURCE POTENTIAL OF SOIL MINERAL NITROGEN AND HARVEST DEVELOPMENT OF WINTER WHEAT

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

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

The article considers the natural and resource potential of mineral nitrogen, the peculiarities of its seasonal dynamics in the process of winter wheat crops' growing in crop rotations of different duration and composition under conditions of hydrothermal regimes of the arid Volga region. The dynamics of nitrate nitrogen content and soil nitrification ability during the vegetation period was studied. The mean long-term data indicates a high correlation between climatic regimes and nitrate nitrogen content and soil nitrification capacity in the first half of winter wheat crops vegetation (0,65–0,92) as well as a negative effect of high mean maximum temperatures in soil surface on potential realization of mineral nitrogen during spring droughts ((–0,65)–(–0,73)). At relatively low average monthly temperature in April 2016 (the air temperature is 10 °C, the upper 5 cm of the soil layer is 13,5 °C) and the first two decades of May (respectively 14,7–13,6 °C and 17,6–15,8 °C) and increased amount of precipitation in May (77,2 mm) the reserves of nitrate nitrogen under the crop rotations during winter wheat growing made in averaged 5,42 mg/kg in soil and reliably decreased because of nitrogen yield up to 1,53 mg/kg. When the nitrification capacity of soil is sufficiently high (on average crop rotations, from 10,81 to 13,37 mg/kg in soil), intensive growth and development of plants was recorded in the first half of the vegetation period, what laid favorable conditions for harvest development (4,0–5,6 t / Ha). Positive influence of perennial grasses on development of soil nitrification ability was noted and determined progressing growth of phytomass in comparison with other crop rotations and following development of increasing harvest of winter wheat crops. Exceeded content of nitrogen in grain from a 9-field crop rotation was fixed.

Keywords: climatic regimes, mineral nitrogen, nitrifying, crop rotations, winter wheat

В условиях современного земледелия одним из основных факторов формирования качественного урожая стала обеспеченность агрокультур минеральными формами азота. Основными путями решения задачи являются введение парового поля в севооборотах, применение минеральных удобрений, запахивание сидератов, формирование

структуры севооборотов, обработка и другие приемы.

Требования к агротехнологиям нового поколения подразумевают наряду с получением урожая заданного количества и качества эффективное использование природного потенциала питательных элементов при условии воспроизводства почвенного

плодородия. Значительная часть минерального азота (до 70%) в питании растений пополняется за счет естественных резервов почвы. Из минеральных удобрений используется в лучшем случае 75% вносимого азота [1]. Длительный мониторинг плодородия чернозема обыкновенного и южного в Географической сети опытов с системами удобрений свидетельствует о разной степени снижения содержания валового азота почвы в зависимости от вносимых доз минеральных удобрений. Среднегодовое снижение его запасов в слое почвы 0–40 см в зернопаровом севообороте составляет от 15,10 до 30,30 кг/га. Внесение низких и средних доз минерального азота (N_{15} и N_{34}) активизирует потери общего азота по сравнению с контролем. Применение высокой дозы минеральных удобрений стабилизирует запасы азота почвы [2, 3].

Разная доля пара в севооборотах и их состав определяют остаточное количество свежей растительной органики в почве и ее качественные характеристики. С введением многолетних трав в севообороты снижаются среднегодовые потери валового азота почвы с 27,2 до 21,2 кг/га [4].

Эффективность использования природного потенциала минерального азота почв связана с микробиологической активностью и определяется интенсивностью нитрификации, которая зависит от гидротермического режима, физико-химических условий почвенной среды, количества свежих органических остатков, характера использования пашни, а также определяется календарными сроками отбора образцов [5].

Цель данного сообщения:

– отразить динамику содержания нитратного азота и нитрификационной способности в условиях климатических режимов засушливой степи на черноземе южном под посевами озимой пшеницы;

– показать влияние состава севооборотов на нитрификационную активность почвы и особенности формирования фитомассы и урожая озимой пшеницы в течение вегетационного периода;

– выявить зависимость количественной и качественной характеристик урожая зерна озимой пшеницы от динамики нитрификации и накопления минерального азота в почве под разными севооборотами.

Материалы и методы исследования

Исследования выполнены в экспериментальном хозяйстве ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства

Юго-Востока» в длительном стационарном опыте отдела земледелия по изучению видов полевых севооборотов. Наблюдения за динамикой содержания минерального азота и нитрификационной способностью почвы проводились в севооборотах разной продолжительности с разным набором культур, которые были заложены после двухлетних уравнильных посевов (вика, овес – яровая пшеница мягкая) и развернуты в пространстве и во времени. Зерно-паро-травяной 9-польный (пар черный, озимая пшеница, просо, яровая пшеница мягкая + многолетние травы, многолетние травы 1-го года пользования, многолетние травы 2-го года пользования, яровая пшеница твердая, яровая пшеница мягкая, яровая пшеница мягкая) и 2-польный зерно-паровой (пар черный – озимая пшеница) севообороты были заложены в 1985 г., 7-польный зерно-паровой (пар черный, озимая пшеница, яровая пшеница твердая, просо, яровая пшеница мягкая, яровая пшеница мягкая, яровая пшеница мягкая) – в 1974 г. Повторность вариантов в опыте 3-кратная, площадь делянок 360 м².

Почва опытного участка – чернозем южный малогумусный среднемощный тяжелосуглинистый с содержанием гумуса в пахотном слое к моменту закладки опыта 4,8–5,1%, валового азота 0,223%, фосфора – в пределах 0,12–0,13%, калия – 1,46.

С целью изучения влияния климатических факторов на особенности формирования запасов минеральных форм азота в условиях засушливых черноземных степей использовались многолетние наблюдения за гидротермическими режимами теплого периода года. В связи с изучением процессов нитрификации использовались среднемесячные показатели по количеству выпавших осадков и температуре за период, предшествующий отбору образцов. Использовались как многолетние, так и сезонные данные по динамике климатических режимов за вегетационный период 2016 г.

Пробы почвы отбирались из пяти точек по каждому варианту в слое почвы 0–30 см с последующим выделением среднего образца, образцы фитомассы и зерна отбирались в трехкратной повторности [6].

Нитрификационная способность после семидневного компостирования почвы и содержание нитратного азота определялись ионометрическим методом [7]. Содержание валового азота – по методу Кьельдаля после кислотного озоления [8].

Таблица 1

Корреляция содержания нитратного азота и нитрификационной способности с климатическими факторами на посевах озимой пшеницы

Показатели	Конец мая, выход в трубку				Конец июля, уборка			
	ГТК	Осадки	Т°С на поверхности почвы		ГТК	Осадки	Т°С на поверхности почвы	
			Средне-месячная	Ср. max			Средне-месячная	Ср. max
N-NO ₃	0,73	0,73	0,92	-0,73	0,18	0,18	0,20	-0,18
Нитрификационная способность	0,65	0,65	0,80	-0,65	0,01	0,01	0,01	-0,01

Результаты исследования и их обсуждение

В условиях засушливого климата региона одним из актуальных вопросов является изучение закономерностей формирования потенциальной способности почвы к нитрификации и накопления запасов минерального азота в период вегетации растений. Эти процессы взаимосвязаны и имеют высокую отрицательную корреляцию в паровых полях (~ 0,9).

Благоприятные климатические условия для развития активной нитрификации на территории засушливых степей региона складываются в период прогревания почвы в весенний период при соответствующей влажности. Для чернозема южного малогумусного среднетяжелосуглинистого оптимальными являются температура – 20–26 °С и влажность – 28,8 %, что составляет 60 % от полной полевой влагоемкости.

Согласно среднесезонным данным, корреляция климатических режимов и содержания нитратного азота и нитрификационной способности почвы в вегетационный период составляет 0,52–0,56. Однако эта зависимость имеет более сложный характер, что связано с особенностями микробиологической активности почвы и динамикой выноса минерального азота фитомассой и урожаем (табл. 1).

К фазе выхода в трубку озимой пшеницы корреляция ГТК и количества выпадающих осадков с содержанием нитратного азота составляет 0,73, а с нитрификационной способностью – 0,65. Существенное значение имеет интенсивность прогревания почвы в начале вегетации. Корреляция со среднемесячной температурой составляет соответственно 0,92 и 0,80. Однако ранневесенние засухи с высокими значениями среднемаксимальной темпера-

туры на поверхности почвы при быстром высыхании почвы ограничивают сроки активной нитрификации. Коэффициент корреляции со средней максимальной температурой на поверхности почвы составляет (-0,65) для нитрификационной способности и (-0,73) – для нитратного азота.

В ходе вегетации озимой пшеницы в связи с выносом азота к фазе созревания зерна значения коэффициентов корреляции гидротермических режимов с запасами нитратного азота и потенциальной способностью к нитрификации снижаются. К моменту уборки урожая корреляция показателей с климатическими факторами практически отсутствует ($K_{\text{корр.}} 0,2 - (-0,18)$) в связи с интенсивным выносом минерального азота с урожаем.

Для вегетационного периода 2016 г. было характерно повышенное для региона количество выпавших осадков в мае месяце (77,2 мм) при относительно низкой среднемесячной температуре апреля (температура воздуха – 10 °С; верхнего 5 см слоя почвы – 13,5 °С) и первых двух декад мая (соответственно 14,7–13,6 °С и 17,6–15,8 °С). Низкая температура воздуха и верхних слоев почвы, несмотря на оптимальную влажность (23–26 %), тормозила формирование запасов нитратного азота. На фоне его выноса озимой пшеницей на момент отрастания (11.04.16) содержание составило 4,26–6,80 мг/кг почвы и достоверно снижалось по мере формирования фитомассы и зерна (табл. 2).

С повышением температуры верхних слоев почвы (5 см) в конце третьей декады мая (30.05.15) до 21,8 °С при средней влажности почвы 20 % получил развитие процесс аммонификации, особенно выраженный в 9-польном зерно-паро-травяном севообороте, где содержание аммонийного азота достигало 16,9 мг/кг почвы.

Помимо того здесь же была повышена способность к нитрификации по сравнению с 7- и 2-польными севооборотами на момент отрастания (11.04.16) озимой пшеницы и в начале формирования зерна (30.05.15): соответственно 16,2; 6,70; 9,54 мг/кг почвы и 16,20; 12,6; 10,6 мг/кг почвы. Коэффициент вариации между вариантами составил 36,823 и 19,633.

Уровень нитрификационной способности тесно коррелирует с формированием количества фитомассы и урожая зерна озимой пшеницы, а также с выносом азота в течение вегетационного периода и его содержанием в зерне. Коэффициент корреляции составляет 0,9–1. В 9-польном севообороте к стадии выхода в трубку урожай абсолютно сухой фитомассы культуры (35,73 ц/га) достоверно превышал 7- и 2-польные севообороты в среднем на 24%, а вынос азота (95,40 кг/га) – на 32%. Благоприятные условия для развития культуры в 9-польном севообороте обеспечили прогрессирующий рост фитомассы и выноса азота к началу форми-

рования зерна. Урожай абсолютно сухого вещества составил 10,74 т/га, что превышало два других севооборота уже на 30%, а вынос азота (143,85 кг/га) – на 41,23%. По содержанию азота в фитомассе не отмечалось значимого различия.

Развитие озимой пшеницы в условиях повышенной способности почвы к мобилизации минерального азота почвы на протяжении вегетационного периода (9-польный зерно-паро-травяной севооборот) в условиях гидротермического режима 2016 г. способствовало формированию урожая (5,51 т/га), достоверно превышающего 7- и 2-польные севообороты в среднем на 22,5%. По содержанию азота/белка зерно озимой пшеницы из 9- и 7-польных севооборотов (2,03/11,57 и 1,92/10,94%) значимо превышало зерно из 2-польного севооборота (1,77/10,09%). Вынос азота с урожаем озимой пшеницы в зерно-паро-травяном севообороте составил 111,84 кг/га, что в среднем на 35% выше по сравнению с 7- и 2-польными севооборотами (табл. 3).

Таблица 2

Динамика содержания минерального азота и нитрификационной способности под посевами озимой пшеницы за вегетационный период 2016 г.

севообороты	Сроки отбора образцов			
	11.04.16	05.05.16	30.05.15	04.07.16
Нитратный азот				
1	2	3	4	5
7-п з/п	6,80	3,5	2,5	1,51
9-п. з-п	5,20	3,4	2,6	1,58
2-п	4,26	3,0	2,9	1,51
среднее	5,42	3,30	2,67	1,53
Критерий Дункана (множественное сравнение частных средних)*	с	в	ав	а
P = 11,88, F = 18,108*, НСР = 5,170				
Аммонийный азот				
1	2	3	4	5
7-п з/п	10,95	5,70	7,69	
9-п. з-п	2,18	3,80	19,6	
2-п	7,91	2,14	7,40	
Нитрификационная способность				
7-п з/п	6,70	11,0	12,6	5,29
9-п. з-п	16,2	9,8	16,9	4,62
2-п	9,54	9,6	10,6	5,69
среднее	10,81	10,13	13,37	5,20
Коэффициент вариации	36,823	6,102	19,663	8,489

Примечание. * – критерий Дункана (множественное сравнение частных средних).

Таблица 3

Вынос азота с вегетативной массой и урожаем

Повторность	Выход в трубку 06.05.17			Начало формирования зерна 30.05.17			Урожай зерна		
	Урожай фитомассы, зерна (ц/га воздушно-сухой)								
	7-п	9-п	2-п	7-п	9-п	2-п	7-п	9-п	2-п
1	2,63	3,35	3,12	6,10	10,52	7,99	4,04	5,63	4,80
2	2,31	3,69	2,51	7,28	10,82	9,62	3,89	5,49	4,41
3	2,51	3,68	3,13	7,32	10,90	6,92	3,98	5,11	4,50
среднее	2,48	3,57	2,92	6,90	10,74	8,17	3,97	5,51	4,57
*	а	в	а	а	с	а	а	в	а
	P = 4,96%, F = 13,650*, НСР = 0,582			P = 5,71%, F = 15,855*, НСР = 1,929			P = 1,11%, F = 55,524*, НСР = 0,183		
K _{корт} с нитрификационной способностью на период отрастания ~ 1									
Содержание азота (%)									
	7-п	9-п	2-п	7-п	9-п	2-п	7-п	9-п	2-п
1	2,21	2,66	2,15	1,17	1,40	1,11	1,93	1,99	1,68
2	2,73	2,68	2,38	1,07	1,42	1,08	2,00	2,08	1,81
3	2,53	2,66	2,43	1,20	1,20	1,13	1,83	2,02	1,82
среднее	2,49	2,67	2,32	1,15	1,34	1,11	1,92в	2,03в	1,77а
	P = 4,96%, F = 4,914			P = 4,58%, F = 5,174			P = 1,98%, F = 12,988*, НСР = 0,141		
Вынос азота (кг/га)									
	7-п	9-п	2-п	7-п	9-п	2-п	7-п	9-п	2-п
1	58,19	88,99	66,97	71,00	147,26	88,71	77,97	112,04	80,66
2	62,93	99,01	59,83	77,91	153,46	103,84	77,80	114,19	79,84
3	63,60	97,87	76,16	87,80	130,83	78,00	72,83	109,28	81,86
среднее	61,85	95,40	67,77	78,90	143,85	90,18	72,20	111,84	80,79
*	а	в	а	а	в	а	а	в	а
	P = 4,16, F = 33,210*, НСР = 12,230			P = 6,11%, F = 29,652*, НСР = 25,018			P = 1,41%, F = 234,710*, НСР = 4,968		

Примечание. * – критерий Дункана (множественное сравнение частных средних).

Выводы

Многолетние наблюдения свидетельствуют о том, что интенсивность нитрификации и содержание нитратного азота в почве в засушливых условиях на черноземе южном в первой половине вегетации озимой пшеницы определяются количеством выпадающих осадков в весенний период и среднемесячной температурой на поверхности почвы. Весенние засухи, сопровождаемые повышением средней максимальной температуры на поверхности почвы, тормозят процесс нитрификации и формирования запасов нитратного азота.

По мере выноса азота с урожаем фитомассы и зерна запасы нитратного азота в почве снижаются. Их уровень не зависит от типа севооборота. В ходе вегетации и формирования урожая вынос минерального

азота из почвы происходит до определенного предела (1,51–1,58 мг/кг почвы).

В первой половине вегетации озимой пшеницы присутствие в севообороте многолетних трав усиливает интенсивность нитрификации. Ее снижение к фазе созревания зерна, как и для нитратного азота, происходит до определенных пределов независимо от севооборота (4,62–5,69 мг/кг почвы). В ходе вегетации значение K_{вар} для вариантов снижается от 36,823 до 8,489.

Благодаря повышенной способности к нитрификации в 9-польном севообороте пищевой режим растений получает преимущество в корневом питании по поступлению минерального азота. Прогрессирующий рост фитомассы и выноса азота в 9-польном севообороте способствовал в условиях гидротермического режима периода вегетации озимой пшеницы в 2016 г.

формированию урожая, на 22,5% превышающего 7- и 2-польные севообороты по валовому сбору и значительно превышающего по содержанию азота/белка зерно с 2-польного севооборота.

Таким образом, введение многолетних трав в севооборот является элементом агротехнологий, обеспечивающим увеличение урожайности зерна озимой пшеницы с повышенным содержанием азота при условии относительной стабилизации почвенного плодородия без применения минеральных удобрений.

Список литературы

1. Мишустин Е.Н., Шильникова В.К. Биологическая фиксация атмосферного азота. – М.: Наука, 1968. – 531 с.
2. Сайфуллина Л.Б., Чуб М.П., Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю. Изменение содержания общего углерода и азота в черноземе южном при длительном применении удобрений в Поволжье // Плодородие. – 2016. – № 4. – С. 19–23.
3. Шаповалова Н.Н., Шустикова Е.П. Мониторинг плодородия чернозема обыкновенного, сформированного под воздействием длительного применения минеральных удобрений // Состояние и перспективы агрохимических исследований в Географической сети опытов с удобрениями: материалы Международ. научн.-метод. конф. – М.: ВНИИА, 2010. – С. 131–134.
4. Сайфуллина Л.Б., Курдюков Ю.Ф., Шубитидзе Г.В., Воронцова О.А. Сезонная динамика содержания нитратного азота в паровых полях севооборотов // Сборник статей международной научно-практической конференции, посвященной 129-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова. – Саратов, 2016. – С. 53–55.
5. Добровольская Т.Г., Звягинцев Д.Г., Чернов И.Ю. и др. Роль микроорганизмов в экологической функции почвы // Почвоведение. – 2015. – № 9. – С. 1087.
6. Есаулко А.Н., Гречишкина Ю.И., Подколзин А.И. и др. Агрохимические обследования и мониторинг почвен-

ного плодородия // Учебное пособие для студентов и аспирантов. – Ставрополь, 2009. – 252 с.

7. ГОСТ 26951-86. Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023499>.

8. ГОСТ Р (ИСО 5983:1997). Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Метод Кьельдаля. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200028421>.

References

1. Mishustin E.N., Shilnikova V.K., Biologicheskaja fiksiacija atmosfernogo azota. M.: Nauka, 1968. 531 p.
2. Sajfullina L.B., Chub M.P., Pronko V.V., Jaroshenko T.M., Klimova N.F., Zhuravlev D.Ju. Izmenenie sodержaniya obshhego ugleroda i azota v chernozeme juzhnom pri dlitelnom primenenii udobrenij v Povolzhe // Plodorodie. 2016. no. 4. pp. 19–23.
3. Shapovalova N.N., Shustikova E.P. Monitoring plodorodija chernozema obyknovennogo, sformirovannogo pod vozdejstviem dlitel'nogo primeneniya mineralnyh udobrenij // Sostojanie i perspektivy agrohimičeskikh issledovanij v Geograficheskoj seti opytov s udobrenijami: materialy Mezhdunarod. nauchn.-metod. konf. M.: VNIIA, 2010. pp. 131–134.
4. Sajfullina L.B., Kurdjukov Ju.F., Shubitidze G.V., Voroncova O.A. Sezonnaja dinamika sodержaniya nitratnogo azota v parovyh poljah sevooborotov // Sbornik statej mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii, posvjashhennoj 129-j godovshhine so dnja rozhdenija akademika N.I. Vavilova. Saratov, 2016. pp. 53–55.
5. Dobrovol'skaja T.G., Zvjagin'cev D.G., Chernov I.Ju. i dr. Rol mikroorganizmov v jekologičeskoj funkcii pochvy // Pochvovedenie. 2015. no. 9. pp. 1087.
6. Esaulko A.N., Grechishkina Ju.I., Podkolzin A.I. i dr. Agrohimičeskie obsledovanija i monitoring pochvennogo plodorodija // Učebnoe posobie dlja studentov i aspirantov. Stavropol, 2009. 252 p.
7. GOST 26951-86. Pochvy. Opredelenie nitratov ionometričeskim metodom. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023499>.
8. GOST R (ISO 5983:1997). Opredelenie massovoj doli azota i vychislenie massovoj doli syrogo proteina. Metod Keldalja. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200028421>.

УДК 631.582/17/8

ВЛИЯНИЕ АГРОТЕХНОЛОГИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ КУЛЬТУР КОРМОВОГО СЕВООБОРОТА

Тюлин В.А., Сутягин В.П., Латышева Е.А.

ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», Тверь,
e-mail: sutiagin.victor2011@yandex.ru

Определено влияние агротехнологий на урожайность культур кормового севооборота короткой ротации в целях моделирования урожайности в зависимости от засоренности посевов. Новизна исследований – при реализации системного подхода на четырех культурах и смесях коротко ротационного севооборота изучались разные агротехнологии, которые различались уровнем минерального питания, степенью химической защиты. Результаты дисперсионного анализа показали, что применение минеральных удобрений и гербицидов по вариантам имеет существенные различия по коэффициенту Фишера. Урожайность овса посевного (1,95–2,61 т/га) была выше, чем тритикале (1,71–2,24 т/га). Минеральные удобрения были эффективны, так как применение 144 кг/га д.в. NPK обеспечило прибавку урожая к контролю у овса 0,31 т/га, у тритикале 0,27 т/га. Использование гербицида дает прибавку урожая к контролю при 144 кг/га д.в. NPK, у овса 0,66 т/га, у тритикале 0,53 т/га. Возделывание тритикале экономически выгодно с применением гербицидов при полном удобрении N48P48K48, где себестоимость зерна тритикале составляет 2400,70 руб/т. На всех вариантах до обработки гербицидами уровень засорения посевов примерно одинаков при коэффициенте вариации менее 10%. Сорные растения были представлены преимущественно малолетними видами, многолетние составляли 5–7% от общего количества видов. В зависимости от уровня агротехнологии изменяется урожайность вико-овсяной смеси и бобово-мятликовой травосмеси. Урожайность вико-овсяной смеси при 72 кг д.в. NPK выше контрольного варианта на 3,55 т/га, а бобово-мятликовой травосмеси – на 1,14 т/га. Совместное применение гербицидов и физиологически активных веществ позволяет увеличить продуктивность культур севооборота на 0,24–0,27 т/га.

Ключевые слова: севооборот, агрофитоценоз, сорные растения, удобрения, питательные вещества, агротехнологии, минеральные удобрения, гербициды, гумат калия, агритокс

THE INFLUENCE OF AGROTECHNOLOGIES ON CROP PRODUCTIVITY OF FARMS OF NORTHERN CROPS

Tyulin V.A., Sutyagin V.P., Latysheva E.A.

Tver State Agricultural Academy, Tver, e-mail: sutiagin.victor2011@yandex.ru

The influence of agrotechnologies on the crop yield of fodder crop rotations of short rotation has been determined in order to simulate yields depending on the weediness of crops. Novelty of researches – at realization of the system approach on four cultures and mixes of a short rotational crop rotation different agricultural technologies which differed by a level of mineral nutrition, a degree of chemical protection were studied. The results of dispersion analysis showed that the use of mineral fertilizers and herbicides on the options has significant differences in the Fisher coefficient. The yield of oats of sowing (1,95–2,61 t/ha) was higher than triticale (1,71–2,24 t/ha). Mineral fertilizers were effective, since the application of 144 kg/ha of d.v. NPK provided an increase in yield to control in oats 0,31 t/ha, triticale 0,27 t/ha. The use of the herbicide gives an increase in yield to the control at 144 kg/ha ai. NPK, oats 0,66 t/ha, triticale 0,53 t/ha. Cultivation of triticale is economically beneficial with the use of herbicides with full fertilizer N48P48K48, where the cost of grain triticale is 2400,70 rubles per ton. In all cases, before the treatment with herbicides, the level of contamination of crops is approximately the same with a variation coefficient of less than 10%. Weed plants were mainly represented by juvenile species, perennial constituted 5–7% of the total number of species. Depending on the level of agrotechnology, the productivity of the vetch-oat mixture and the legume-meadow grass mixture changes. The yield of the vetch-oat mixture at 72 kg a. NPK is 3,55 t/ha above the control variant, and the legume-grassy grass mixture is 1,14 t/ha. The combined use of herbicides and physiologically active substances makes it possible to increase the productivity of crop rotation by 0,24–0,27 t/ha.

Keywords: crop rotation, agrophytocenosis, weeds, fertilizers, nutrients, agrotechnologies, mineral fertilizers, herbicides, potassium humate, agritoks

Проблемой совершенствования агротехнологий в России занимались многие ученые, которые установили, что их корректировка должна определяться, прежде всего, ресурсными и экологическими условиями конкретных территорий. В Пермской ГСХА, на основе прогнозирования, определены перспективы развития сельскохозяйственного землепользования [1]. К условиям Республики Татарстан представлены основные агротехнологии производства продукции

растениеводства. Предложены направления дальнейшего совершенствования агротехнологий [2]. В.И. Кирюшин обосновал задачи биологизации и адаптивной интенсификации агротехнологий. Перспективы совершенствования систем севооборотов, удобрения [3]. Для агроландшафтов Нечерноземья рекомендованы смеси кормовых растений с участием бобового компонента [4–6].

Агротехнологии влияют на урожайность культур в зависимости от условий

природной среды. Во Всероссийском научно-исследовательском институте мелиорированных земель (ВНИИМЗ) определено влияние ландшафтно-экологических условий на продуктивность сельскохозяйственных культур [7]. Представлен анализ компонентов природной среды и рассмотрена их роль в адаптивном растениеводстве [8]. На основе изучения элементов системы земледелия разработана типовая модель ландшафтно-мелиоративной системы земледелия [9].

Высокие агротехнологии рассчитаны на достижение максимальной прибыли с учетом экологических ограничений техногенных факторов [10]. Одним из основных техногенных факторов, влияющих на урожайность, являются минеральные удобрения. В Пермской ГСХА на основе факторных схем с удобрениями предложены режимы минерального питания сельскохозяйственных растений [11].

Цель исследований – определить влияние уровня агротехнологий на урожайность культур кормового севооборота в условиях Тверской области.

Трёхфакторный опыт заложен в 2015 г. на опытном поле кафедры ботаники и луговых экосистем Тверской ГСХА в четырёхкратной повторности методом расщеплённых делянок. Почвы участка дерново-среднеподзолистые супесчаные с содержанием гумуса 2,0–2,5%, фосфора 150–220 мг/кг, калия 90–120 мг/кг. Изучение культур выполнялось в короткоротационном севообороте (фактор А), заложенном во времени и пространстве с выводным полем и тремя уровнями питания. Чередование культур севооборота – 1) вико-овсяная смесь; 2) овес посевной с подсевом клевера; 3) клевер; 4) тритикале. В выводном поле изучали тимофеечно-люцерново-лядвенцевую травосмесь. Нормы внесения минеральных удобрений (фактор Б): 0 – без удобрений; N24P24K24 – внесение азота, фосфора и калия по 24 кг/га действующего вещества; N48P48K48 – внесение азота, фосфора и калия по 48 кг/га действующего вещества; биологически активные вещества (фактор В) – гербицид агритокс на овсе и тритикале и гумат калия на смесях кормовых растений.

Учётная площадь делянки под культурой составляла 984 м². Площадь делянки второго порядка (удобрения) составляла 480 м², третьего порядка (гербициды, биологически активные вещества) – 240 м².

Объекты исследований – сорт овса посевного «Кречет», ярового тритикале «Ров-

ня», вики посевной «Льговская – 22» клевер луговой «ВИК 7», люцерны «Вега 87», тимофеевки луговой «ВИК 9», лядвенца рогатого «Луч».

При реализации системного подхода авторы на четырех культурах и смесях применяли разные агротехнологии, которые различались уровнем минерального питания, степенью (минеральные удобрения, гербициды, биологически активные вещества). Анализ результатов эксперимента предполагает расчет достоверной прибавки продуктивности в зависимости от уровня агротехнологии. В исследованиях изучалось влияние удобрений, гербицидов и биологически активных веществ на продуктивность культур севооборота с короткой ротацией. Результаты дисперсионного анализа показали, что применение минеральных удобрений и гербицидов по вариантам имеет существенные различия, потому что коэффициент Фишера (F) фактический больше коэффициента теоретического. Так, коэффициент F фактический по применению удобрений равен у овса 10,7, а теоретический – 3,52. По применению гербицидов F фактический равен 4,5, а теоретический – 4,4. Минеральные удобрения, гербициды оказали влияние на урожайность зерновых культур в 2016 году (табл. 1). Урожайность овса посевного (1,95–2,61 т/га) была выше, чем тритикале (1,71–2,24 т/га). Минеральные удобрения были эффективны – применение 144 кг/га д.в. NPK обеспечило прибавку урожая к контролю у овса 0,31 т/га, у тритикале 0,27 т/га.

Использование гербицида дает прибавку урожая к контролю при 144 кг/га д.в. NPK у овса 0,66 т/га, у тритикале 0,53 т/га. Следует отметить видовое разнообразие сорняков. Они были представлены преимущественно малолетними видами, многолетние составляли 5–7% от общего количества видов. Из малолетних сорняков доминировали редька дикая (*Raphanus raphanistrum* L.), пикульник красивый (*Galeopsis speciosa* Mill.) и обыкновенный (*G. tetrahit*), ромашка непахучая (*Matricaria perforata* Merat), фиалка полевая (*Viola arvensis* Murr), из многолетних видов, такие как осот полевой (*Sonchus arvensis* L.) и будра плющевидная (*Glechoma hederacea* L.).

В опытах с тритикале изменение урожая от применения гербицидов незначительно при уровне значимости 95%. Это объясняется тем, что засорённость посевов тритикале была представлена малолетними видами сорняков, которые оказали незначительное

влияние на урожайность культуры. Анализ экономической эффективности показал, что овёс выгоднее возделывать без удобрений и без применения гербицидов, где себестоимость зерна составляет 2200,30 руб/т. Возделывание тритикале экономически выгодно с применением гербицидов при полном удобрении N48P48K48, где себестоимость зерна тритикале составляет 2400,70 руб/т при ценах 2015 г.

При низком уровне плодородия дерново-подзолистой почвы конкурентоспособность многолетних сорняков по отношению к культурным растениям увеличивается. Внесение минеральных удобрений увеличивает массу сорняков, особенно это заметно в раннюю фазу развития. Однако масса сорняков в посевах к фазе его цветения снижается, что связано с увеличением надземной массы зерновых, как сдерживающего фактора. При применении НРК засоренность многолетними сорняками ниже, чем на удобренном, а засоренность мало-

летними – на уровне неудобренного фона. На фоне полного минерального удобрения в агрофитоценозе уменьшается по сравнению с неудобренным доля фиалки полевой, горцев, осота полевого.

В табл. 2 показана засоренность посевов овса до и после обработки гербицидами. На всех вариантах до обработки гербицидами уровень засорения посевов примерно одинаков при коэффициенте вариации менее 10%. После обработки гербицидом наблюдается снижение уровня засоренности посевов овса на всех фонах применения удобрений, кроме фона без внесения удобрений.

Корреляционно-регрессионный анализ данных по уровню засорения посевов и урожайности овса показал, что до обработки и после применения гербицида на посевах нет существенного влияния на урожайность овса. Данное обстоятельство объясняется, с одной стороны, низким уровнем засорения, а с другой стороны, высокой конкурентной способностью овса.

Таблица 1

Влияние удобрений и гербицидов на урожайность зерновых культур

Фон питания	Гербицид	Овёс посевной			Тритикале		
		Урожайность, т/га	Прибавка к контролю		Урожайность, т/га	Прибавка к контролю	
			т/га	%		т/га	%
0		1,82			1,61		
0	Агритокс	1,95	0,13		1,71	0,10	
N24P24K24		2,00	0,18	2,5	1,78	0,17	3,9
N24P24K24	Агритокс	2,22	0,40	12,2	2,03	0,42	15,8
N48P48K48		2,26	0,44	13,7	1,98	0,37	13,6
N48P48K48	Агритокс	2,61	0,79	25,3	2,24	0,63	23,7
НСР ₀₅		Фона – 0,20 ($F_{\text{факт}} > F_{\text{терет}}$) Гербицида – 0,07 ($F_{\text{факт}} > F_{\text{терет}}$) Взаимодействия 0,04 ($F_{\text{факт}} < F_{\text{терет}}$)			Фона – 0,19 ($F_{\text{факт}} > F_{\text{терет}}$) Гербицида – 0,06 ($F_{\text{факт}} < F_{\text{терет}}$) Взаимодействия 0,03 ($F_{\text{факт}} < F_{\text{терет}}$)		

Таблица 2

Влияние удобрений и гербицидов на засоренность посевов овса

Фон питания	Гербициды	Сухая масса сорняков, г/м ²	
		До обработки	Через 20 дней
О	б/г	11,9	49,1
	гербицид	13,4	52,3
НРК15	б/г	12,8	101,3
	гербицид	14,3	56,3
НРК30	б/г	13,8	125,1
	гербицид	11,4	62,6
НСР05 частных различий		1,93	7,25
НСР05 главных различий		0,64	2,42
коэф. коррел.		-0,15	0,17

Таблица 3

Влияние удобрений и биологически активных веществ на урожайность кормовых культур

Фон питания	Биологически активное вещество	Вико-овсяная смесь			Бобово-мятликовая травосмесь		
		Урожайность, т/га	Прибавка к контролю		Урожайность т/га	Прибавка к контролю	
			т/га	%		т/га	%
0		15,21			12,42		
0	Гумат калия	16,01	0,8	5,2	13,22	0,80	6,4
N24P24K24		18,76	3,55	23,3	13,56	1,14	9,2
N24P24K24	Гумат калия	19,72	4,51	29,6	15,39	2,97	23,9
N48P48K48		20,32	5,11	33,6	16,00	3,58	28,8
N48P48K48	Гумат калия	21,49	6,28	41,3	16,90	4,48	36,1
НСР ₀₅		Фона – 0,32 ($F_{\text{факт}} > F_{\text{терет}}$) Гербицида – 0,11 ($F_{\text{факт}} > F_{\text{терет}}$) Взаимодействия 0,07 ($F_{\text{факт}} < F_{\text{терет}}$)			Фона – 0,37 ($F_{\text{факт}} > F_{\text{терет}}$) Гербицида – 0,32 ($F_{\text{факт}} > F_{\text{терет}}$) Взаимодействия 0,07 ($F_{\text{факт}} > F_{\text{терет}}$)		

Таблица 4

Влияние применения удобрений, агритокса и гумата калия на прибавку урожая в кормовых единицах, т/га

Фон питания	Гербицид Агритокс			Гумат калия			Среднее по препаратам
	Овёс	Тритикале	Среднее	Вико-овёс	Бобово-мятликовая травосмесь	Среднее	
0	0,13	0,11	0,12	0,16	0,18	0,17	0,14
N24P24K24	0,04	0,28	0,19	0,19	0,4	0,3	0,24
N48P48K48	0,35	0,29	0,32	0,23	0,2	0,22	0,27

В зависимости от уровня агротехнологии изменяется урожайность вико-овсяной смеси и бобово-мятликовой травосмеси (табл. 3). Однолетняя смесь при пониженном уровне минерального питания обеспечила 18,76 т/га зеленой массы, средние дозы НРК повысили продуктивность до 20,32 т/га, а при применении N48P48K48 – до 21,49 т/га. Бобово-мятликовая травосмесь первого года жизни менее урожайна, чем однолетняя, при этом применение минеральных удобрений и биологически активных веществ эффективно.

Минеральные удобрения, биологически активные вещества оказали существенное влияние на урожайность зеленой массы изучаемых культур. Так, урожайность вико-овсяной смеси при внесении 72 кг д.в. НРК выше контрольного варианта на 3,55 т/га, а бобово-мятликовой травосмеси на – 1,14 т/га. При пониженной норме минерального удобрения и применении гумата калия прибавка составила 2,97–4,51 т/га. Анализ экономической эффективности показал, что вико-овсяную смесь эффективней возделывать без применения удобрений с обработкой посевов гуматом

калия, где себестоимость зеленой массы составляет 69,45 руб/т. Многолетнюю бобово-мятликовую травосмесь выгоднее выращивать на вариантах без применения удобрений с обработкой растений гуматом калия, где себестоимость 1 т сена составляет 237,19 руб/т при ценах 2015 г.

Данные табл. 4 свидетельствуют о том, что гербициды и физиологически активные вещества существенно влияют на продуктивность изучаемых культур.

Причем действие препаратов имеет значительные отличия. Так, применение гербицида позволяет зерновым культурам повышать продуктивность при увеличении нормы минеральных удобрений. Тогда как гумат калия лучше действует на среднем уровне минерального питания – прибавка кормовых единиц на фоне N24P24K24 составляет 0,40 т/га, а на фоне N48P48K49 – 0,20 т/га.

Заключение

Рассмотрена эффективность агротехнологий при производстве зерна и зеленого корма в условиях Тверской области. Выявлено, что наиболее эффективно применение

умеренных и повышенных доз минеральных удобрений. Минеральные удобрения обеспечивают 5,0–10,0% прибавки урожая зерновых к контролю, а при выращивании растений на зеленую массу – 10,0–20,0%. При средней засоренности посевов зерновых сорняками, с надземной массой сорной растительности выносятся из почвы около 40 кг/га N, 20–30 кг P₂O₅ и 40–50 кг K₂O. Совместное применение гербицидов и физиологически активных веществ позволяет увеличить продуктивность культур севооборота на 0,24–0,27 т/га.

Список литературы

1. Пшеничников А.А. Прогноз использования земель сельскохозяйственного назначения Пермского края // Агротехнологии 21 века. – Пермь, 2015. – С. 98–103.
2. Амиров М.Ф. Агротехнологии зерновых культур / М.Ф. Амиров, И.Р. Валеев, А.Р. Валиев и др. // Система земледелия Республики Татарстан. – Казань, 2014. – С. 18–140.
3. Кирюшин В.И. Агротехнологии / В.И. Кирюшин, С.В. Кирюшин. – СПб., 2015. – 464 с.
4. Кобзин А.Г. Урожайность пастбищных травосмесей с райграсом пастбищным / А.Г. Кобзин, В.А. Тюлин, Т.М. Тихомирова, Д.А. Вагунин // Кормопроизводство. – 2011. – № 11. – С. 12–14.
5. Кобзин Н.Г. Влияние состава травосмесей с участием козлятника восточного и уровня минерального питания на продуктивность агрофитоценозов / А.Г. Кобзин, В.А. Тюлин, Н.Н. Иванова, Д.А. Вагунин // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 10. – С. 25–27.
6. Тюлин В.А. Многолетние бобовые травы в агроландшафтах Нечерноземья / В.А. Тюлин, Н.Н. Лазарев, Н.Н. Иванова, Д.А. Вагунин. – Тверь: «Тверская ГСХА», 2014. – 234 с.
7. Тюлин В.А. Дифференциация агроприемов в условиях ландшафтного земледелия / В.А. Тюлин, О.В. Карасева, Л.И. Петрова, Р.А. Салихов, Д.А. Иванов // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2001. – № 3. – С. 61–63.
8. Ковалев Н.Г. Анализ компонентов природной среды при разработке моделей ландшафтно-адаптивных систем земледелия / Н.Г. Ковалев, В.А. Тюлин, Д.А. Иванов, В.Е. Озолин // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2000. – № 4. – С. 50–54.
9. Ковалев Н.Г. Формирование адаптивно-ландшафтной системы земледелия / Н.Г. Ковалев, В.А. Тюлин, Д.А. Иванов // Земледелие. – 1999. – № 5. – С. 22–23.
10. Цугленок Г.И. Разработка агротехнологии эффективного снижения численности и вредоносности сорных растений / Г.И. Цугленок, Н.С. Косулина, О.А. Курносенко // Проблемы современной аграрной науки. – Красноярск, 2014. – С. 33–35.
11. Мurygin В.П. Влияние срока и дозы азотной подкормки на урожайность озимых культур / В.П. Мurygin, В.А. Попов, С.Л. Елисеев // Агротехнологии 21 века. – Пермь, 2015. – С. 76–80.

References

1. Pshenichnikov A.A. Prognoz ispolzovaniya zemel sel'skhozajstvennogo naznacheniya Permskogo kraja // Agrotehnologii 21 veka. Perm, 2015. pp. 98–103.
2. Amirov M.F. Agrotehnologii zernovykh kultur / M.F. Amirov, I.R. Valeev, A.R. Valiev i dr. // Sistema zemledelija Respubliki Tatarstan. Kazan, 2014. pp. 18–140.
3. Kirjushin V.I. Agrotehnologii / V.I. Kirjushin, S.V. Kirjushin. SPb., 2015. 464 p.
4. Kobzin A.G. Urozhajnost pastbishnykh travosmesej s rajgrasom pastbishnym / A.G. Kobzin, V.A. Tjuln, T.M. Tihomi-rova, D.A. Vagunin // Kormoproizvodstvo. 2011. no. 11. pp. 12–14.
5. Kobzin N.G. Vlijanie sostava travosmesej s uchastiem kozljatnika vostochnogo i urovnja mineralnogo pitaniya na produktivnost agrofitocenzov / A.G. Kobzin, V.A. Tjuln, N.N. Ivanova, D.A. Vagunin // Dostizhenija nauki i tehniki APK. 2011. no. 10. pp. 25–27.
6. Tjuln V.A. Mnogoletnie bobovye travy v agrolandshaftah Nечерноземья / V.A. Tjuln, N.N. Lazarev, N.N. Ivanova, D.A. Vagunin. Tver: «Tverskaja GSHA», 2014. 234 p.
7. Tjuln V.A. Differencijacija agroprivemov v usloviyah landshaftnogo zemledelija / V.A. Tjuln, O.V. Karaseva, L.I. Petrova, R.A. Salihov, D.A. Ivanov // Vestnik Rossijskoj akademii sel'skhozajstvennykh nauk. 2001. no. 3. pp. 61–63.
8. Kovalev N.G. Analiz komponentov prirodnoj sredy pri razrabotke modelej landshaftno-adaptivnykh sistem zemledelija / N.G. Kovalev, V.A. Tjuln, D.A. Ivanov, V.E. Ozolin // Vestnik Rossijskoj akademii sel'skhozajstvennykh nauk. 2000. no. 4. pp. 50–54.
9. Kovalev N.G. Formirovanie adaptivno-landshaftnoj sistemy zemledelija / N.G. Kovalev, V.A. Tjuln, D.A. Ivanov // Zemledelie. 1999. no. 5. pp. 22–23.
10. Cuglenok G.I. Razrabotka agrtehnologii jeffektivnogo snizhenija chislennosti i vredonosnosti sornykh rastenij / G.I. Cuglenok, N.S. Kosulina, O.A. Kurnosenko // Problemy sovremennoj agrarnoj nauki. Krasnojarsk, 2014. pp. 33–35.
11. Murygin V.P. Vlijanie sroka i dozy azotnoj podkormki na urozhajnost ozimyh kultur / V.P. Murygin, V.A. Popov, S.L. Eliseev // Agrotehnologii 21 veka. Perm, 2015. pp. 76–80.

УДК 66.074.1

ИССЛЕДОВАНИЕ И КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОАЭРОМЕХАНИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ГАЗА

Волков П.В., Зятиков П.Н., Большунов А.В.

*НИТПУ «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск,
e-mail: tpuipr@mail.ru*

Актуальность работы обусловлена необходимостью промышленной подготовки газа, а именно очистки от механических примесей и гидратов. Целью работы является обоснование выбора способа воздействия на гидраты и способа очистки от механических примесей гидроаэромеханическими методами и последующая разработка новой установки для подготовки газа на УКПГ (установка комплексной подготовки газа), создание программного продукта, который будет моделировать процесс образования гидратов, расчет эффективного цикла для отделения газов от гидратов и определение оптимальных термобарических параметров. Применяемые методы исследования: экспериментальные исследования на установке для теплофизического воздействия для предотвращения гидратообразования методом моделирования условий реальной среды; методы использования и анализа удаления аналогичных частиц из потока газа. Результатом данной работы является создание нового экспериментального стенда, который зарегистрирован в ТПУ (Томский политехнический университет), для проведения экспериментов по удалению гидратов и механических примесей из потока газа. Разработана и опробована схема удаления механических примесей из потока газа при различном расходе реагента.

Ключевые слова: гидратообразование, циклон, экспериментальная установка, гидроаэромеханический метод, подготовка газа

RESEARCH AND COMBINED APPLICATION OF HYDRO-AEROMECHANICAL METHODS FOR PREVENTION OF HYDRATE FORMATION AT PREPARATION OF GAS

Volkov P.V., Zyatikov P.N., Bolchunov A.V.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: tpuipr@mail.ru

The relevance of the discussed issue is caused by the need to prepare the gas namely the purification of mechanical impurities and hydrates. The main aim of the study is to justify the choice of the method for influencing hydrates and the method of purification from mechanical impurities by hydro aeromechanical methods and the subsequent development of a new unit for gas treatment at the GPP (complex gas preparation unit), the creation of a software product that will calculate the energy carrier, Gas composition and thermo baric parameters. The methods used in the study: experimental studies on the unit for thermophysical effects to prevent hydrate formation by modeling the conditions of the real environment; Methods of using and analyzing the removal of similar particles from the gas stream. The result of this work is creating a new experimental unit which is registered and is put on the balance of TPU (Tomsk Polytechnic University) for carrying out experiments to remove hydrates and various particles from the gas stream. The modeling of the processes taking place in the complex preparation of real gas on an industrial scale has been carried out. Develop and test a system for removing mechanical impurities from the gas stream at different reagent flow rates.

Keywords: hydrate formation, cyclone, experimental installation, hydroaeromechanical method, gas preparation

В настоящее время проблема образования гидратов на внутривысоконапорных и магистральных трубопроводах очень актуальна. Скопление гидратов в сечении трубы приводит к уменьшению пропускной способности, дополнительной дросселиции потока, а в некоторых случаях и его полной остановке. Основной метод борьбы с гидратообразованием в промышленных масштабах – подача метанола в объеме идентичном сечению трубопровода, его длины и степени оседания и прилипания гидратов на участке. Также применяют подогрев газа или корпуса трубопроводов.

Образование гидратов

Гидратообразованием называется процесс объединения молекул газа с водой, воз-

никающий при уменьшении температуры и увеличении давления газожидкостного потока внутри трубопровода. Данная реакция приводит к образованию гидратов, которые представляют собой белые кристаллы, похожие на снегообразную кристаллическую массу. На рис. 1 указаны параметры образования кристаллов гидрата метана [1].

Газ, поступающий из скважин, содержит влагу в жидкой и паровой фазе. Жидкая фаза извлекается сепараторами различной конструкции. С помощью установок осушки газа на головных сооружениях снижается содержание паров воды. При низком качестве осушки газа в газопроводе конденсируется влага и образуются кристаллогидраты, в результате чего снижается его пропускная способность. Максимальное содержание

влаги в газе (в г на 1 м³ сухого газа) приближенно определяют по графику при температуре 20 °С и давлении 0,1013 МПа [2–4].

Кроме основных условий образования гидратов, существуют побочные: турбулентность движения газа, пульсации, наблюдающиеся при работе двигателей, резкие повороты ЛЧ МГ, сужения трубы и другие факторы, приводящие к перемешиванию газового потока [5]. Местонахождение гидратной пробки определяют замером давления на трассе по повышенному перепаду давлений на каком-либо участке при помощи радиолокационной антенны и передвижной радиолокационной станции, просвечиванием труб гамма-излучением с помощью радиоизотопного прибора РИК-6М. Максимальное содержание влаги (при полном насыщении) зависит от состава газа, возрастая с увеличением содержания тяжелых углеводородов, сероводорода и углекислого газа и снижаясь с повышением содержания азота [5].

(рис. 1), которая включает баллон со сжатым газом (азот, воздух, 40 л), эжектор с кольцевым соплом и приёмной воронкой, циклон с форбункером и его подогревом и фильтр для очистки газа. Основные задачи, которые решались в рамках физического моделирования экспериментальной установки:

- расчет подачи гидратов на установку, обеспечивающие их смешение и максимальную степень улавливания в результате прохождения через циклон;
- определение тепловых и газодинамических потоков внутри аппарата и оптимальных конструктивных параметров установки;
- определение оптимальных рабочих параметров работы установки – температуры, давления, расходов исходных гидратов, температуры и давления на установке и другие характеристики, влияющие на процесс удаления гидратов;
- выдача рекомендаций к проектированию опытного аппарата.



Рис. 1. Области образования и разрушения гидратов газа метана [1]

Установка для теплофизического воздействия для предотвращения гидратообразования

Целью данной разработки является создание экспериментальной установки для борьбы с гидратообразованиями гидроаэромеханическими методами. Пропускная способность установки должна быть до 100 м³/час газа в реальных условиях [6–7]. В качестве моделирования процесса борьбы с гидратообразованием предложена схема

Механизм разрушения и удаления гидратов на экспериментальной установке гидроаэромеханическим методом

В приемную воронку 1 помещается лед (который по своим свойствам наиболее близок к кристаллам гидратов) с дисперсностью частиц до 8 мм. Из баллона через регулятор давления 4 и игольчатый вентиль 5 подается воздух с необходимым давлением на эжектор 2. В результате эжекционного эффекта образуется движе-

ние газового потока с кристаллами льда по транспортной трубе ($D_y = 20$ мм), затем двухфазный поток поступает в циклон 8, который отделяет твердую примесь потока и отправляет его вниз в форбункер с подогревом 9, где лед (в реальной системе – гидрат) разрушается. Газ продолжает движение дальше, где выходит из системы, а на выходе происходит процесс улавливания в приемной камере 13 (фильтр). Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2.

Основные требования к физической модели установки улавливания гидратов

1. Газ-имитатор, который будет использоваться в экспериментальном стенде – воздух, азот.

2. Диапазон изменения расхода газа – от $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $100 \text{ м}^3/\text{ч}$. При расходе воздуха $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ через диаметр трубопровода 20 мм средняя скорость потока газа будет $44,21 \text{ м/с}$. Давление газа в трубопроводе от 1 атм до 2 атм. Температура газа в трубопроводе $5\text{--}25^\circ\text{C}$.

3. Отношение диаметра транспортного трубопровода к диаметру (наибольшему сечению) частиц гидрата 3.

Число Рейнольдса:

$$Re = \nu \rho d / \mu,$$

где ν – характерная скорость газа, м/с; ρ – плотность газа, кг/м^3 ; d – внутренний диаметр трубы, м; μ – динамическая вязкость, Па·с.

При скорости потока газа $44,21 \text{ м/с}$ число Рейнольдса: $Re = 58933$, развитое турбулентное течение.

4. Длина и внутренний диаметр трубы экспериментальной установки – $L = 800$ мм, $d = 20$ мм.

5. Материал трубопровода – сталь.

6. Массовая концентрация частиц в трубопроводе – $0,08 - 1$.

7. Подача льда с помощью эжектора. Массовый расход льда – от 3 до 20 кг/ч .

8. Необходимо измерение температуры в форбункере.

9. Необходимо измерять расход воздуха.

10. Взвешивать массу льда до начала и после эксперимента.

11. Мощность электронагревателя составляет 2 кВт .

Порядок проведения эксперимента

Подготовительная часть работы (настройка коэффициента эжекции и степени сжатия).

1. Открыть вентиль на баллоне, при закрытом вентиле редуктора.

2. Рукояткой редуктора выставить необходимое давление, ориентируясь по выходному манометру редуктора.

3. Установить необходимое расстояние от среза сопла до начала смесительного участка эжектора (L_c).

Примечание. Коэффициент эжекции зависит в основном от расстояния (L_c), а степень сжатия зависит от отношения площади сечения смесительного участка к площади критического сечения сопла.

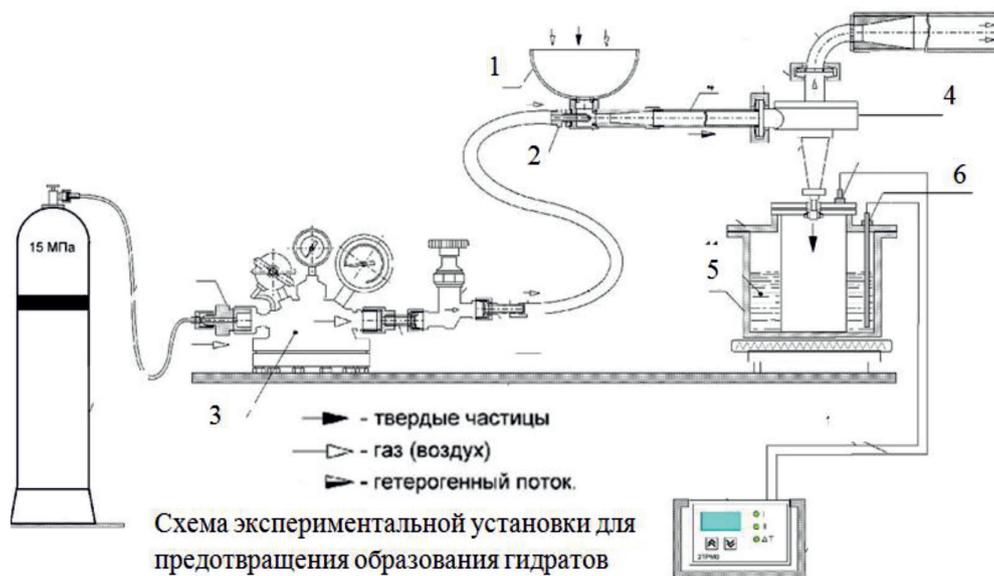


Рис. 2. Экспериментальный стенд улавливания гидратов: 1 – воронка приемная; 2 – эжектор; 3 – регулятор давления; 4 – циклон; 5 – форбункер; 6 – датчик температуры

4. Вращая сопло вправо или влево, уменьшают (Lc) или увеличивают, тем самым уменьшают или увеличивают коэффициент эжекции. Степень сжатия эжектора подбирается заменой сопла (прилагаются три варианта диаметра сопел 3 мм, 4 мм, 5 мм).

5. После установлении необходимого (Lc) затянуть контргайку.

Исследовательская часть работы

1. Включить измеритель температуры
2. Включить электроплитку для подогрева форбункера циклона.

3. По достижении необходимой температуры подогревающей жидкости открыть вентиль и вручную осуществить подачу твердых частиц гидрата в приемную воронку, соблюдая необходимую концентрацию частиц в потоке воздуха.

4. По окончании опыта закрыть вентиль, закрыть вентиль баллона, выключить электропитание измерителя температуры и подогревателя.

Примечание. Общий расход воздуха, используемый в проточной части установки, приближенно измеряется трубкой Пито-Прандтля в центре среза измерительной трубы. Принцип измерения заключается в измерении трубкой Пито максимальной скорости потока в центре измерительной трубы. Далее, по кривой Никурадзе находится средняя скорость по всему сечению трубы. По найденному значению средней скорости и площади сечения измерительной трубы вычисляется расход воздуха.

Максимальная скорость потока воздуха (м/с)

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2gP_{\Delta}}{\rho_b}}, \quad (1)$$

где P_{Δ} – перепад давления измеренный трубкой Пито (мм. вод. ст.), размерность соответствует с размерностью кг/м^2 , $\nu = 1,5 \cdot 10^{-5}$ кинематическая вязкость воздуха [8].

Для ориентировочной оценки потребляемого газа (воздуха) из баллонов приведена методика определения массового расхода воздуха при разных значениях давления воздуха перед соплом и различных диаметров сопла. Формула для расчета расхода сжатого газа в зависимости от диаметра отверстия и давления в сети:

$$G = f \times P_{\text{абс}} \times 10^5 \times 3600 \times \sqrt{k_p \times \left(\frac{2}{k_p + 1}\right)^{\frac{k_p + 1}{k_p - 1}} \times \frac{1}{RT_p}}, \quad (2)$$

где G – расход сжатого газа, кг/час ; f – площадь сопла, м^2 ; $P_{\text{абс}}$ – полное давление на сопле: $P_{\text{абс}} = P_0 + P_{\text{изб}} = 1 + P_{\text{изб}}$, где P_0 – атмосферное давление в атм, $P_{\text{изб}}$ – давление на манометре в атм; k_p – показатель адиабаты, для воздуха $k_p = 1,4$; R – газовая постоянная, для воздуха $R = 287 \text{ дж/кг} \times \text{град}$; T_p – температура газа в К, $T_p = t^{\circ}\text{C} + 273$.

Произведем расчет для проведения эксперимента при отверстии 5 мм и при избыточном 5 атм [8].

$$G = \frac{3,14 \times (5 \times 10^{-3})^2 \times 6 \times 10^5 \times 3600}{4} \sqrt{\frac{0,47}{287 \times 290}} \cong 101 \text{ кг/ч}.$$

В пересчете на нормальные $\text{м}^3/\text{час}$ получается G:

$$\rho_{\text{газ}} = 101[\text{кг/ч}] : 1,23[\text{кг/м}^3] \approx 82 [\text{м}^3/\text{ч}],$$

где $\rho_{\text{газ}} = 1,23[\text{кг/м}^3]$ – плотность воздуха при нормальных условиях.

Таблица расхода газа [9]

Давление атм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Диаметр сопла, мм	1	2	3	3	4	5	5	6	7	7
	2	5	8	11	13	16	19	21	24	30
	3	12	18	24	30	36	42	48	54	66
	4	21	32	43	54	64	75	86	97	118
	5	34	50	67	84	101	117	134	151	185
	6	48	72	97	121	145	169	193	217	266
	7	66	99	132	164	197	230	263	296	362
	8	86	129	172	215	258	301	344	387	473
	9	109	163	217	272	326	381	435	489	598
	10	134	201	268	336	403	470	537	604	738
	11	162	244	325	406	487	568	650	731	893
	12	193	290	387	483	580	677	773	870	1063

Представим данные для расчета в таблице для аналогичных экспериментов.

Выводы

В результате проведения работы по исследованию проблем образования гидратов и проблем очистки газа от механических примесей был предложен и изготовлен стенд для предотвращения гидратообразования гидроаэромеханическими методами. Исследования показали высокую эффективность предложенного метода. Были смоделированы различные реальные условия подготовки газа, разработана математическая модель процесса, а также начал разрабатываться программный комплекс для проведения расчетов для различных месторождений.

Список литературы

1. Бухгалтер Э.Б. Метанол и его использование. – М.: Недра, 1986. – 240 с.
2. Ахмедов М.И. Технология очистки метанолсодержащих сточных вод нефтегазоконденсатных месторождений // Нефтяное хозяйство. – М., 2016. – № 5. – С. 106–108.
3. Кутепов А.М., Терновский И.Г., Кузнецов А.А. Гидродинамика и гидроциклон // Журнал прикладной физики. – 2008. – № 12. – С. 145–149.
4. Мурзагулов В.Р. Совершенствование эксплуатации добывающих скважин и нефтегазовых шлейфов в условиях образования парафиногидратных отложений: на примере Ямбургского газоконденсатного месторождения: дис. ... канд. тех. наук: 25.00.17 / Мурзагулов Венер Рифкатович; [Место защиты: Ин-т проблем трансп. энергоресурсов]. – Уфа, 2011. – 119 с.
5. Мансуров Р.И., Брил Д.М., Эмков А.А. Основные направления развития технологий и технологии очистки нефти и воды на месторождениях // Нефтяная промышленность. – М., 2009. – № 9. – С. 54–62.
6. Тимербаев А.С. Исследование физико-химического метода очистки воды для систем поддержания пластового давления с использованием центробежного сепаратора с рабочим колесом // Новые технологии – нефтегазовый регион. – 2012. – ч. 2. – 284 с.

7. Гуандун Г., Сонгшэн Д. Исследование разрыва дисперсных масел и эмульсификация в динамическом гидроциклоне нефти и воды // Науки и технологии. – 2013. – № 5. – С. 1110–1116.

8. ВРД 39-1.13-010-2000. Инструкции по расчету норм потребления метанола для использования при расчете предельно допустимых или временно согласованных сбросов метанола для объектов «Газпрома». Публ. МРТ «Газпром». – 2000. – 17 с.

9. Тимербаев А.С., Таранова Л.В. Численное моделирование разделения масляно-водной эмульсии в центробежном сепараторе // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9-3. – С. 547–551.

References

1. Buhgalter Je.B. Metanol i ego ispolzovanie. M.: Nedra, 1986. 240 p.
2. Ahmedov M.I. Tehnologija ochistki metanolsoderzhashih stochnyh vod neftegazokondensatnyh mestorozhdenij // Neftjanoe hozjajstvo. M., 2016. no. 5. pp. 106–108.
3. Kutepov A.M., Ternovskij I.G., Kuznecov A.A. Gidrodinamika i gidrociklon // Zhurnal prikladnoj fiziki. 2008. no. 12. pp. 145–149.
4. Murzagulov V.R. Sovershenstvovanie jekspluatacii dobyvajushih skvazhin i neftegazovyh shlejfov v uslovijah obrazovaniya parafinogidratnyh otlozhenij: na primere Jamburgskogo gazokondensatnogo mestorozhdenija: dis. ... kand. teh. nauk: 25.00.17 / Murzagulov Vener Rifikatovich; [Mesto zashhity: In-t problem transp. jenergoresursov]. Ufa, 2011. 119 p.
5. Mansurov R.I., Bril D.M., Jemkov A.A. Osnovnye napravlenija razvitija tehnologij i tehnologii ochistki nefiti i vody na mestorozhdenijah // Neftjanaja promyshlennost. M., 2009. no. 9. pp. 54–62.
6. Timerbaev A.S. Issledovanie fiziko-himicheskogo metoda ochistki vody dlja sistem podderzhanija plastovogo davlenija s ispolzovaniem centrobezhnogo separatora s rabochim koleksom // Novye tehnologii neftegazovoj region. 2012. ch. 2. 284 p.
7. Guandun G., Songshjen D. Issledovanie razryva dispersnyh masel i jemulsifikacija v dinamicheskom gidrociklone nefiti i vody // Nauki i tehnologii. 2013. no. 5. pp. 1110–1116.
8. VRD 39-1.13-010-2000. Instrukcii po raschetu norm potreblenija metanola dlja ispolzovanija pri raschete predelno dopustimyh ili vremenno soglasovannyh sbrosov metanola dlja obektov «Gazproma». Publ. MRT «Gazprom». 2000. 17 p.
9. Timerbaev A.S., Taranova L.V. Chislennoe modelirovanie razdelenija masljano-vodnoj jemulsii v centrobezhnom separatore // Fundamentalnye issledovanija. 2014. no. 9-3. pp. 547–551.

УДК 504.06:911.2:622(571.51)

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАДЗЕМНОЙ МАССЫ В ЭКОСИСТЕМАХ ОТВАЛОВ ПОСЛЕ УГЛЕДОБЫЧИ**Дубынина С.С.***Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, e-mail: Dubynina@irigs.irk.ru*

В работе обобщены результаты исследований биологической продуктивности нарушенных земель Азейского угольного разреза Тулунского района Иркутской области. Приводятся результаты многолетних исследований восстановления растительного покрова на трех ключевых участках разреза «Азейский». Дана характеристика объектов исследования. Индикационным восстановительным показателем в растительном покрове техногенных ландшафтов явился видовой состав и продуктивность надземной массы. Установлен ход сингенетических сукцессий растительности на разных типах отвалов с породами, вынесенными при открытых разработках на поверхность. Прослежены начальные стадии формирования, от пионерной и разнотравно-кустовой группировки к бобово-злаковой группировке до замкнутого лесного фитоценоза. Выявлены запасы зеленой массы, мортмассы исследуемых экосистем трех участков техногенных новообразований (отвалов). Построены пространственно-временные модели динамики продуктивности надземной массы на исследуемых участках Азейского разреза. Выявлено слабое возобновление травянистой растительности на вершинах отвалов, что объясняется возвышенным положением отвалов и физическими свойствами поверхностного слоя породы.

Ключевые слова: Иркутская область, Тулунский район, отвалы, экосистемы, растительный покров, сукцессии, продуктивность надземной массы

SPATIAL-TEMPORAL CHANGES OF ABOVEGROUND MASS IN THE ECOSYSTEMS OF THE PILES AFTER THE COAL MINING INDUSTRY**Dubynina S.S.***V.B. Sochava Institute of geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: Dubynina@irigs.irk.ru*

The article summarizes the results of studies of biological productivity of disturbed lands «Azeysky coal mine» Tulun district of the Irkutsk region. The results of years of research revegetation on three key areas of breakdown «Azeysky». The characteristic objects of study. Indicator recovery indicator in a vegetable cover of technogenic landscapes was the specific structure and efficiency of elevated weight. Set during syngenetic succession of vegetation on different types of blades with rocks, made in open to the surface, which gives the opportunity to trace the initial stage of formation, starting from pioneer, and forb-shrub group to the legume-grass Association and to the closed forest phytocenosis. Identified resources of green mass, mortmass the studied ecosystems at three sites technogenic tumors (dumps). Built spatio-temporal models of dynamics of productivity of aboveground mass at the study sites Azeysky cut. Weak renewal by grassy vegetation at tops of dumps is revealed that is explained by the sublime provision of dumps and physical properties of a blanket of breed.

Keywords: Irkutsk region, Tulunsky district, dumps, ecosystems, vegetation, succession, productivity of aboveground mass

Угольный разрез «Азейский» Тулунского района находится в пределах Иркутска-Черемховской равнины, территория которого простирается с юго-востока на северо-запад, его площадь – 36 000 км². Добыча угля разреза «Азейский» идет открытым способом. При этом разрушаются значительные площади территории, на их месте формируются новые ландшафтные структуры (отвалы). С образованием техногенного рельефа происходит изменение как абсолютных, так и относительных отметок высот по сравнению с первичной поверхностью, что способствует образованию рельефа с системой узких гребней в сочетании с выровненными платообразными частями [1]. Откосы отвалов разреза «Азейский» отличаются большими уклонами (14–40°) и подвержены плоскостной и овражной эрозии.

Степень и скорость естественного за-растания почвенного покрова растительно-

стью зависит от качества вскрышных пород. Основные породы отвалов представлены: аргиллитами, алевролитами, песчаниками и четвертичными покровными суглинками, которые – не токсичны. По физическим и химическим свойствам породы отвалов довольно плодородны, имеют высокую водопроницаемость за счет щебнисто-каменистых фракций аргиллитов и мелкоземлистых пород [2]. В результате этого создается довольно стабильный водный режим, сохраняющий значительные запасы продуктивной влаги, соизмеримые с запасами ее в зональных почвах.

Цель работы – исследование пространственно-временных изменений надземной массы в молодых экосистемах отвалов Азейского бурогоугольного месторождения.

В связи с этим решался ряд задач:

– изучение процесса первоначального формирования растительных группировок отвалов;

– оценка продуктивности фитомассы в разных группировках экосистем;

– динамика запасов надземной массы экосистем в сопряженном ряду на примере построенных пространственно-временных моделей.

Материалы и методы исследования

По климатическим условиям район относится к территориям с суровой, продолжительной, малоснежной зимой и теплым летом с обильными осадками. Климат резко континентальный. Здесь наблюдаются отрицательные среднегодовые температуры воздуха и сильные перепады их в течение суток, неравномерное выпадение осадков по годам, контрастный радиационный режим зимних и летних месяцев. Таким образом, суровые природные факторы способствовали тому, что господствующим типом растительности здесь являются хвойно-лиственничные леса. Согласно карте растительности юга Восточной Сибири [3] на исследуемой территории преобладают среднесибирские растительные формации, относящиеся к Урало-Сибирской фратрии. При изучении растительного покрова в окружении угольного разреза «Азейский» авторы стремились, по возможности, составить представление о видах разных жизненных форм и продуктивности надземной массы. В окружении угольного разреза «Азейский» были выбраны 3 экспериментальных участка: Заазейский, Восточный и участок IV. Изучение неоднородности структуры растительного покрова отвалов осуществлялось методом подбора экспериментальных площадок, где проводились геоботанические описания по стандартной методике. Эти методики включали определение видового состава сообщества и количество видов на площадке 0,25 м², общее проективное покрытие и характеристику местообитания [4–6]. В пределах каждой площадки проводились укусы в трехкратной повторности, где учитывался запас зеленой массы и отмершего органического вещества растений (ветошь, подстила и отпад). Все образцы после высушивания до абсолютно сухого состояния взвешивались, и расчет запасов живой и мертвой массы проводился на основе средних значений [7].

Результаты исследования и их обсуждение

Растительный покров исследуемых участков представлен сообществами разных группировок, сменяющих друг друга, начи-

ная с вершины отвала пионерной стадии, переходя к длительно-производной луговой растительности и заканчивая осиново-березово-сосновым лесом с высокотравной растительностью, которые различались между собой не только по характеру растительного покрова, но и по запасам растительного вещества.

На участке «Заазейский» изучено пять экосистем, образующих хроноряд группировок [8]. Разные по местоположению и структуре сообщества отвалов представляют собой разные стадии восстановительных сукцессий:

– вершина отвала т. 1 и склон отвала т. 1а, где основу пионерной группировки составляют широко распространенные виды сорных растений, из которых формируются бурьянистые сообщества. Растения находятся на значительном расстоянии друг от друга. Проективное покрытие (п/п) в т. 1 составляет 10–15%, а в т. 1а – 30–40%. Видовой состав на площадке 25 м² представлен от 4–7 видами растений, преимущественно сорными. Сегетально-рудеральные растения способны быстро захватывать свободные территории [9]. Доминантами являются: донник желтый – *Melilotus albus*; Иван-чай узколистный – *Epilobium angustifolium*, осот полевой – *Sonchus arvensis*, полынь Сиверса – *Artemisia siversiana*, а также злаки – пырей ползучий – *Elytrigia repens*. Среднюю часть склона занимают куртины облепихи крушиновой – *Hippophae rhamnoides*, появление подроста сосны лесной. На лишенных растительности участках поселяются гипновые мхи;

– восстановительная группировка березово-осинового леса т. 3 сомкнутость крон до 70%. На опушке подрост осины высотой 1–2 м. Подлесок выражен слабо и представлен редкими кустами шиповника иглистолистной высотой до 1,5 м. Хорошо развит травяной покров, общее п/п составляет 80%, число видов на площадке 0,25 м² – 9. Доминантами лесного разнотравья являются: вейник наземный – *Calamagrostis epigeius* высотой до 1.2 м, чина низкая – *Lathyrus humilis*;

– разнотравно-кострецовый луг т. 5, где пионерная стадия сменилась на длиннокорневищно-злаковую с большим участием лугового разнотравья. Общее п/п 80–90%, число видов на площадке 0,25 м² – 7. Доминируют злаки: кострец безостый – *Bromopsis inermis*, пырей ползучий – *Elytrigia repens*. Велик процент растений с ползучими и стержневыми корневищами – это осот полевой – *Sonchus arvensis*. Злаки и бобовые

в растительном покрове создают практически сформированное луговое сообщество, близкое к естественному фитоценозу [10];

– березово-сосновый лес с вейниково-высокотравной растительностью т. 6. Древесная растительность представлена сосной лесной – *Pinus sylvestris* с диаметром стволов 20–40 см, и березой плосколистной – *Betula platyphylla* с диаметром 20–30 см, высотой 13–15 м. В травяном покрове преобладает высокотравье – вейник наземный – *Calamagrostis epigeius*, василистник малый – *Thalictrum minus*, тысячелистник недотрога – *Achillea impatiens*. Число видов на площадке 0,25 м² – 8, п/п составляет 80%. Поскольку сомкнутость крон 30–40%, солнечные лучи свободно проникают под полог деревьев, это способствует разрастанию таких видов, как герань сибирская – *Geranium sibiricum*, чина низкая – *Lathyrus humilis*, подмаренник настоящий – *Galium verum*.

Растительный покров участка «Восточный» представлен сообществами разных группировок, сменяющих друг друга:

– вершина отвала т. 1, на которой основу пионерной растительности составляют обычно широко распространенные виды сорных растений, из которых формируются бурьянистые сообщества. Они обладают высокой жизнеспособностью и рядом адаптивных биологических свойств. Сегетально-рудеральные растения способны быстро захватывать свободную территорию. На изучаемой площадке характерно отсутствие сомкнутого наземного яруса, общее п/п 10–20%, число видов на площадке 0,25 м² – 7. Доминантами являются полыни (*Artemisia*), донники (*Melilotus*), высота этих видов достигает 1,5–2 м;

– склон отвала т. 2 составляют смешанные группировки с крупнобурьянистой растительностью. Общее п/п травянистого покрова составляет 40–45%, число видов на площадке 0,25 м² – 6. Смешанные группировки состоят из разнотравья и злаков, с господством корнеотпрысковых и глубокостержнекорневых растений: пырей ползучий – *Elytrigia repens*, осота полевого – *Sonchus arvensis* – и *Epilobium angustifolium* – кипрея. На вершине склона отвала, заселяют кустарниковые виды растений – ива козья – *Salix caprea*. В напочвенный покров включаются *Melilotus albus* – донник желтый, *Linaria vulgaris* – льнянка обыкновенная. Отмечено появление подроста *Pinus sylvestris* – сосны лесной и *Betula platyphylla* – березы плосколистной;

– разнотравно-злаково-бобовый луг (т. 3 и 4) сформировался на нарушенных землях в результате самозарастания. Общее п/п 90–100%, число видов встречаемых на площадке 0,25 м² от 5 до 7. В сообществе отмечен большой процент бобовых растений, произрастающих большими куртинами. Среди них *Medicago sativa* – люцерна посевная, *Vicia cracca* – горошек мышиный, *Trifolium pratense* – клевер полевой, *Melilotus suaveolens* – донник душистый. На лугу идет интенсивное возобновление леса такими породами, как сосна, береза, осина;

– сосновая лесная восстановительная серия (т. 5) представляет собой формирующийся лес на месте нарушенной территории. Сомкнутость крон 70–80%, разнообразие видов встречаемых на площадке 0,25 м² – 6. Возраст сосен 15–18 лет, высота около 10 м. В подросте доминирует сосна до 2 м, однако показательно появление лиственницы сибирской – *Larix sibirica*. Травянистая растительность включает сорные виды – иван-чай – *Epilobium angustifolium*, репейничек волосистый – *Agrimonia pilosa*. В напочвенном покрове незначительно появляются мхи и лишайники.

На участке «IV» изучено 7 разновидностей экосистем, которые отличались между собой не только по местоположению, но и по характеру растительных группировок:

– разнотравно-бобово-злаковые группировки на вершине вала т. 1, 4 и т. 6 на оплывающем борту вала. Общее п/п от 50 до 70%, разнообразие видов составляет от 4 до 7. Большую часть травостоя занимают злаки. Господствующими видами являются пырей ползучий – *Elytrigia repens*, кострец – *Bromopsis inermis*, мятлик – *Poa attenuate*, из разнотравья: полынь – *Artemisia scoparia*, подорожник – *Plantago media*, тысячелистник – *Achillea impatiens*, из бобовых видов: чина – *Lathyrus*, клевер ползучий – *Trifolium repens*. В травяном покрове встречаются кусты шиповника – *Rosa acicularis* и смородины – *Ribes*;

– разнотравно-злаковый луг на выровненной поверхности т. 2. Общее п/п 90 – 100% на площадке 0,25 м² насчитывается от 6 до 9 видов. Основу травостоя составляют длиннокорневищные злаки – пырей (*Elytrigia repens*) и кострец (*Bromopsis inermis*). Растительный покров состоит из луговых трав. Это тысячелистник обыкновенный – *Achillea millefolium*, герань сибирская – *Geranium sibiricum*. Из сорных видов: осот (*Sonchus*), погребок (*Gmelins*), крапива коноплевая – *Urtica cannabina*. Предста-

вители древостоя сосна – (*Pinus*) и береза (*Betula*) в возрасте 5–10 лет. Кустарниковая растительность разнотравно-злакового луга: ива (*Salix*), черемуха (*Padus*), облепиха (*Hippophae*), шиповник (*Rosa*);

– осиново-сосново-березовый лес с разнотравно-хвощево-злаковой травянистой растительностью т. 3, 5 и 7. Лес представлен длительно производной восстановительной серией светлохвойных лесов, характерных для Иркутско-Черемховской равнины. Основу древостоя составляют: осина, береза и сосна, высотой до 10 м. Травяной покров густой, п/п составляет 80–90%, число видов на площадке 0,25 м² – 10. В травяном покрове встречаются типичные лесные

и опушечные виды растений: борщевик рассеченнолистный – *Heracleum dissectum*, василисник малый – *Thalictrum minus*, медуница мягчайшая – *Pulmonaria mollis*, большими куртинами произрастает хвощ полевой – *Equisetum arvense*.

Исследования показали, что продуктивность растительного покрова надземной массы различна. Изученные ряды участков на данный момент представляют собой разные группировки восстановительных сукцессий. Полученные данные по продуктивности растительного вещества участка «Заазейский» иллюстрируют закономерности запасов зеленой и мортмассы в разных группировках экосистем (рис. 1).

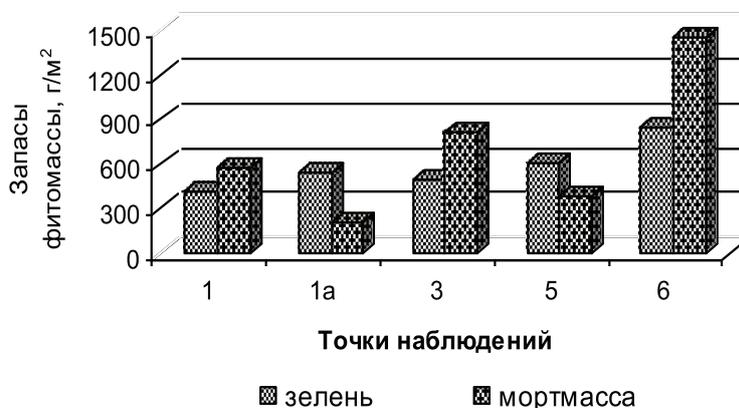


Рис. 1. Средние запасы зеленой и мортмассы на участке «Заазейский», г/м². Точки наблюдений и названия: т. 1 – пионерные группировки на молодых почвах вершины отвала и т. 1а – склона отвала; т. 3 – восстановительная группировка березово-осинового леса; т. 5 – разнотравно-кострецовый луг; т. 6 – группировки березово-соснового леса с вейниково-высокотравной растительностью

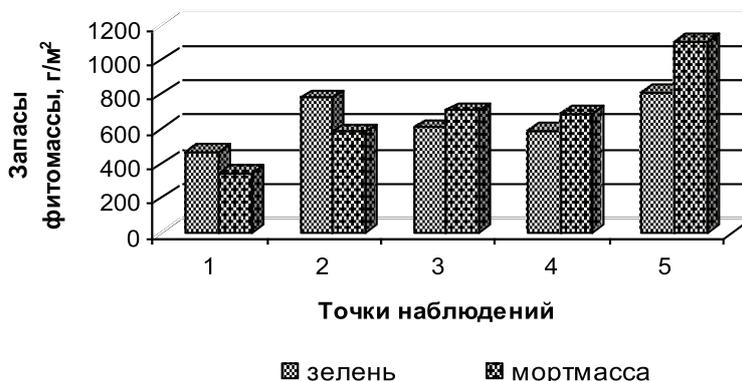


Рис. 2. Распределение запасов надземной массы на участке «Восточный», г/м². Точки наблюдений и названия: т.1 – пионерные группировки на молодых почвах; т. 4 – злаково-полюнная восстановительная стадия растительного покрова вершин отвалов; т. 2 – склон отвала составляет смешанные группировки с бурьянистой растительностью; т. 3 – злаково-разнотравно-бобовый луг; т. 5 – сосновая лесная восстановительная серия с злаково-разнотравно-бобовой растительностью

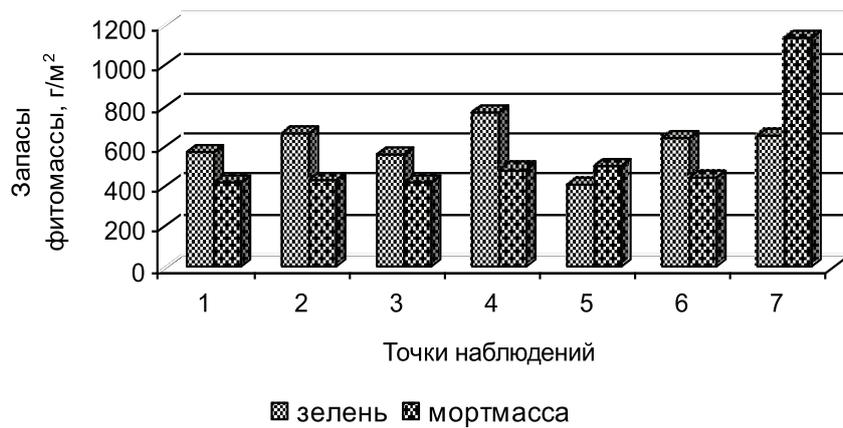
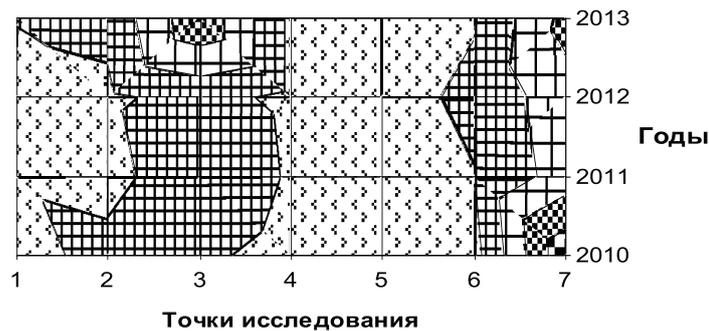


Рис. 3. Средние запасы надземной массы (зелень и мортмасса) на участке «IV», г/м². Точки наблюдений и названия: т. 1 – разнотравно-бобово-злаковый луг; т. 2 – разнотравно-злаковый луг; т. 3 – сосново-березовый лес с хвощево-травяной растительностью; т. 4 – разнотравно-злаково-бобовый луг; т. 5 – сосново-березовый лес со злаково-костяничковым травостоем; т. 6 – разнотравно-бобово-злаковый луг; т. 7 – сосново-березовый лес с лиственницей и с разнотравно-осоково-злаковой растительностью



■ 800-1100 ■ 1100-1400 ■ 1400-1700 ■ 1700-2000 ■ 2000-2300

Рис. 4. Пространственно-временные изменения надземной массы в сообществах участка «IV». Топохроноизоплетами показаны запасы надземной массы в г/м²; 1–7 – точки наблюдений (усл. обозн. см. рис. 3)

Так, запасы зеленой массы были самые высокие 852, а мортмассы 1460 г/м² в березово-сосновом лесу с вейниково-высокотравной растительностью (т. 6). Мортмасса в лесном сообществе высокая за счет ветоши, подстилки и опада и на долю мортмассы приходится до 72%. Самые низкие запасы мортмассы на склоне отвала (т. 1а) – 203 г/м², за счет сноса мертвого вещества по склону (влияние струйчатой эрозии) и его скопления у подножья отвала.

Существенно различаются группировки по запасам надземной массы на участке «Восточный» в соответствии с местоположением и внутренними ритмами развития (рис. 2).

Разброс значений запасов надземной массы внутри каждой группы огромен. Величина зеленой массы в сосновой лесной со злаково-разнотравно-бобовой растительностью (т. 5) составляет 800 г/м², что в 2 раза больше, чем в пионерных группировках (т. 1), а мортмассы в 3,5 раза. Экосистемы по запасам зеленой массы выстраиваются в следующий ряд: сосновая лесная восстановительная серия (т. 5) > склона отвала со смешанными группировками (т. 2) > злаково-разнотравно-бобового луга (т. 3) > злаково-полынной восстановительной стадии (вершина отвала т. 4) > пионерной группировки (т. 1).

Распределение запасов надземной массы в экосистемах на участке «IV» (рис. 3).

Средние запасы надземной массы на профиле участка «IV» в многолетнем ряду в лесных сообществах колеблются от 822 до 2225 г/м². Минимальные запасы отмечены в злаково-костяничковом сообществе (т. 5), максимальные в разнотравно-осоково-злаковом травостое, за счет большого накопления мортмассы – ветоши и подстилки (т. 7). Наибольшие колебания зеленой массы отмечаются в луговых сообществах, где максимум приходится на разнотравно-злаково-бобовый луг – 765 г/м² (т. 4). Наглядным доказательством являются построенные пространственно-временные модели, которые обнаруживают существенную динамику лесных и луговых сообществ (рис. 4).

За период четырехлетних исследований наблюдается четко выраженное увеличение запасов общей надземной массы в лесных сообществах (т. 3 и 7), достигающих максимальных своих значений в 2010 г. (т. 7). Затем наступает ярко выраженный спад – 2011 и 2012 гг., и вновь увеличение в 2013 г. В луговых сообществах прослеживается четкая ритмичность по всему исследуемому профилю. Исключением явились 2010 и 2013 гг. для разнотравно-злакового луга (т. 2), где происходит увеличение надземной массы.

Заклучение

В техногенных ландшафтах важным восстановительным показателем в растительном покрове остается видовой состав и продуктивность надземной массы, как важнейший индикаторный признак. Слабое возобновление травянистой растительности на вершинах отвалов с проективным покрытием 15–20% и с господством многолетних растений преимущественно сорно-лугового типа объясняется возвышенным положением отвалов и физическими свойствами поверхностного слоя породы. Однако эдафические условия и водный режим отвалов в лесостепной зоне мало отличаются от зональных почв, а травяной покров под лесным пологом с общим проективным покрытием 80–90%, имеет самую высокую продуктивность 2225 г/м², за счет скопления мортмассы (ветоши и подстилки). Это демонстрируют построенные пространственно-временные модели динамики продуктивности надземной массы в экосистемах исследуемого участка разреза «Азейский».

Список литературы

1. Богородская А.В., Трефилова О.В., Шишкин А.С. Процессы первичного почвообразования в техногенных

экосистемах на отвалах Бородинского бурогольного месторождения (восточная часть КАТЭКа) // Вестник Томского гос. ун-та. – 2014. – № 382. – С. 214–220.

2. Накаряков А.В., Трофимов С.С. О молодых почвах, формирующихся на отвалах отработанных россыпей в подзоне южной тайги Среднего Урала // Почвообразование в техногенных ландшафтах. – Новосибирск: Изд-во «Наука», 1979. – С. 58–105.

3. Атлас Иркутской области. – М.; Иркутск: ИГ СО АН, Роскартография, 2004. – 90 с.

4. Ефимов Д.Ю., Шишкин А.С. Растительный покров рекультивированных отвалов угольных разрезов Канской лесостепи // Известия Самарского науч. центра РАН. – 2014. – Т. 16, № 5. – С. 190–195.

5. Дубынина С.С. Изменение нарушенных земель при открытой добыче угля на территории промышленного освоения Сибири // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 10. – С. 119–124.

6. Маторина Л.В., Ижевская Т.И. Сравнительная характеристика растительного покрова на отвалах открытых разработок бурого угля и железной руды // Растения и промышленная среда. – Свердловск, 1980. – С. 80–87.

7. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. – М.: Изд-во «Мысль», 1978. – 182 с.

8. Дубынина С.С. Состояние растительного покрова природно-техногенных экосистем на территории промышленного освоения Сибири // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 8–1. – С. 46–49.

9. Хомушка Н.Г., Самбуу А.Д. Первичная сукцессия растительности техногенных отвалов Каа-Хемского угольного разреза республики Тыва // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 6. – С. 132–136.

10. Шергина О.В., Михайлова Т.А., Калугина О.В., Пройдакова О.А. Естественное восстановление почвенного и растительного покрова на промышленных отвалах // География и природ. ресурсы. – 2015. – № 2. – С. 66–74.

References

1. Bogorodskaja A.V., Trefilova O.V., Shishikin A.S. Processy pervichnogo pochvoobrazovaniya v tehnogennyh ekosistemah na otvalah Borodinskogo burougolnogo mestorozhdeniya (vostochnaja chast KATJeKa) // Vestnik Tomskogo gos. un-ta. 2014. no. 382. pp. 214–220.

2. Nakarjakov A.V., Trofimov S.S. O molodyh pochvah, formirujushhijhsja na otvalah otrabotannyh rossypej v podzone juzhnoj tajgi Srednego Urala // Pochvoobrazovanie v tehnogennyh landshaftah. Novosibirsk: Izd-vo «Nauka», 1979. pp. 58–105.

3. Atlas Irkutskoj oblasti. M.; Irkutsk: IG SO AN, Roskartografija, 2004. 90 p.

4. Efimov D.Ju., Shishikin A.S. Rastitelnyj pokrov rekultivirovannyh otvalov ugolnyh razrezov Kanskoy lesostepi // Izvestija Samarskogo nauch. centra RAN. 2014. T. 16, no. 5. pp. 190–195.

5. Dubynina S.S. Izmenenie narushennyh zemel pri otkrytoj dobyche uglja na territorii promyshlennogo osvoenija Sibiri // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. 2016. no. 10. pp. 119–124.

6. Matorina L.V., Izhevskaja T.I. Sravnitel'naja harakteristika rastitel'nogo pokrova na otvalah otkrytyh razrabotok burogo uglja i zheleznoj rudy // Rasteniya i promyshlennaja sreda. Sverdlovsk, 1980. pp. 80–87.

7. Metody izuchenija biologicheskogo krugovorota v razlichnyh prirodnyh zonah. M.: Izd-vo «Mysl», 1978. 182 p.

8. Dubynina S.S. Sostojanie rastitel'nogo pokrova prirodno-tehnogennyh ekosistem na territorii promyshlennogo osvoenija Sibiri // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij. 2013. no. 8–1. pp. 46–49.

9. Homushku N.G., Sambuu A.D. Pervichnaja suksessija rastitelnosti tehnogennyh otvalov Kaа-Hemskogo ugolnogo razreza respubliki Tyva // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. 2015. no. 6. pp. 132–136.

10. Shergina O.V., Mihajlova T.A., Kalugina O.V., Projdakova O.A. Estestvennoe vosstanovlenie pochvennogo i rastitel'nogo pokrova na promyshlennyh otvalah // Geografija i prirod. resursy. 2015. no. 2. pp. 66–74.

УДК 550.42(571.1)

ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ВАЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТАЛЛОВ (Mn, Pb, Cr, Zn, Ni) В НЕКОТОРЫХ РЕКАХ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО БАСЕЙНА**Земцова Е.С., Алимова Г.С.***Тобольская комплексная научная станция Уральского отделения Российской академии наук (ТКНС УрО РАН), Тобольск, e-mail: zemcovaelena@mail.ru*

Атомно-эмиссионным методом определено валовое содержание металлов (Mn, Pb, Cr, Zn, Ni) в донных отложениях некоторых рек Обь-Иртышского бассейна: р. Демьянка, р. Самсоновская, р. Лев, р. Вандрас. Проведен корреляционный анализ Спирмена между валовыми концентрациями металлов и процентным содержанием гранулометрических фракций донных отложений < 2,0 мм. Установлена положительная корреляционная зависимость между концентрациями Mn, Pb, Cr, Zn, Ni и фракцией глинистых частиц (< 0,005 мм). На основе полученных уравнений регрессии рассчитаны теоретические значения концентрации Mn, Pb, Cr, Zn, Ni в образцах проб донных отложений известного гранулометрического состава исследуемых рек. При сравнении теоретических значений с фактически полученными результатами выявлены образцы с повышенными концентрациями металлов.

Ключевые слова: Обь-Иртышский бассейн, донные отложения, гранулометрический состав, металлы, органическое вещество, корреляционный и регрессионный анализы

INFLUENCE OF GRANULOMETRIC COMPOSITION OF BOTTOM SEDIMENTS ON GROSS DISTRIBUTION OF METALS (Mn, Pb, Cr, Zn, Ni) IN SOME RIVERS OF THE OB-IRTYSH BASIN**Zemtsova E.S., Alimova G.S.***Tobolsk complex scientific station of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (TCSS UB RAS), Tobolsk, e-mail: zemcovaelena@mail.ru*

Atomic-emission method determined the total content of metals (Mn, Pb, Cr, Zn, Ni) in the bottom sediments of some rivers of the Ob-Irtysh basin: r. Demianka, r. Samsonovskaya, r. Lev, r. Vandras. Spearman's correlation analysis was made between the total metal concentrations and the percentage of granulometric fractions of bottom sediments < 2,0 mm. A positive correlation between the concentrations of Mn, Pb, Cr, Zn, Ni and a fraction of clay particles (< 0,005 mm) was established. Based on the regression equations obtained, the theoretical values of the concentration of Mn, Pb, Cr, Zn, Ni in samples of sediment samples of the known granulometric composition of the investigated rivers were calculated. When comparing the theoretical values with the actual results, samples with elevated metal concentrations were detected.

Keywords: the Ob-Irtysh basin, bottom sediments, granulometric composition, metals, organic matter, correlation and regression analyses

В современных условиях промышленно-го освоения Обь-Иртышского бассейна (питьевое и техническое водоснабжение, судоходство, рыболовство) особенное внимание уделяется экологическому состоянию как крупных рек, так и их притоков. Характер накопления загрязняющих веществ зависит и от гранулометрического состава донных отложений (ДО). Верхний 10-сантиметровый слой донных осадков – основной объект геоэкологических исследований [1]. В частности, влияние различных гранулометрических фракций ДО на валовое распределение металлов обнаружено рядом исследователей [2–8]. Интенсивность сорбции металлов донными осадками может зависеть и от химических свойств ДО – рН, содержание органического вещества и т.д. [7].

Объектом исследования в данной работе являются ДО некоторых рек Обь-Иртышского бассейна – Демьянка, Сам-

соновская, Лев и Вандрас. Демьянка является достаточно крупным правым притоком р. Иртыш, общей длиной более 1000 км. Реки Самсоновская, Лев, Вандрас – притоки бассейна Верхней Оби, расположенные в южной части Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) Тюменской области. Исследуемые притоки бассейна Верхней Оби относят к малым рекам с протяженностью не более 200 км [6].

Цель работы – на основе полученных уравнений регрессии, отражающих математическую зависимость концентрации металла от процентной доли фракций гранулометрического состава ДО, рассчитать теоретические значения концентрации металлов в каждом образце ДО. Сравнение фактически полученных результатов с теоретически рассчитанными позволит выявить образцы донных осадков с «аномальными» (т.е. значительно отклоняющимися

от теоретических показателей) концентрациями элементов.

В работе изучено валовое распределение металлов – Mn, Pb, Cr, Zn, Ni в донных осадках исследуемых рек. Данные металлы относят к микрокомпонентам природных объектов. Согласно ГОСТ 17.4.1.02-83 «Классификация химических веществ для контроля загрязнения» Pb и Zn относят к 1 классу опасности (высоко опасные), Cr и Ni – 2 класс опасности (умеренно опасные), Mn – 3 класс опасности (мало опасные) [3].

Материалы и методы исследования

В 2014 г. проведены экспедиционные работы на территории Ханты-Мансийского автономного округа и Уватского района Тюменской области по изучению химического загрязнения ДО четырех рек – Демьянка (D), Лев (L), Вандрас (V) и Самсоновская (S). Географические координаты станций отбора проб ДО представлены в табл. 1.

Таблица 1
Географические координаты станций отбора проб ДО на реках ХМАО

Наименование водоема	Станция отбора	Географические координаты
Река Вандрас	В2	N60°04,125'; E071°28,729'
	В1	N60°04,120'; E071°28,956'
Река Лев	Л2	N60°01,344'; E071°21,974'
	Л1	N60°00,730'; E071°20,229'
Река Самсоновская	С1	N59°38,171'; E071°17,701'
	С2	N59°58,117'; E071°17,689'
Река Демьянка	Д1	N59°29,313'; E070°00,523'
	Д2	N59°32,626'; E069°20,476'

Отобрано 24 образца ДО (по 6 образцов с каждой реки). Отбирался верхний слой речных отложений (5–10 см) при использовании дночерпателя с площадью захвата 0,025 м². Анализ образцов ДО проведен в 2014 г. в лаборатории экотоксикологии ТХНС УрО РАН (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.516420 от 04 марта 2011 г.). Оценен уровень pH водной вытяжки ДО, содержание органического вещества, валовые концентрации пяти эле-

ментов – Mn, Pb, Cr, Zn, Ni. Содержание органического вещества определено по методу И.В. Тюрина в модификации В.Н. Симакова. Элементный анализ проведен в разведенных экстрактах после кислотного разложения образцов ДО с использованием метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭС) на спектрометре Optima 7000DV (PerkinElmer, США). Кислотное разложение образцов ДО выполнено с помощью системы микроволнового разложения speedwave MWS-2 (BERGHOF Products + Instruments GmbH, Германия). Гранулометрический состав ДО был определен авторами ранее с помощью метода Рутковского, для классификации ДО по результатам гранулометрического анализа использован треугольник Ферре [9]. Статистический анализ данных проведен с использованием пакета программ Statistica (StatSoft). При проверке статистических гипотез применялись регрессионный анализ, коэффициент корреляции Спирмена r ($r < 0,30$ – слабые связи, $r = 0,31–0,70$ – средние связи, $r > 0,70$ – сильные связи по шкале Чеддока) [10].

Результаты исследования и их обсуждение

Донные отложения четырех исследуемых рек различались по гранулометрическому составу и классифицировались как «пески», «суглинистые пески» и «песчанистые суглинки» [8]. Количество образцов ДО данных наименований для каждой реки составило соответственно 4, 2, 0 для р. Демьянка; 0, 3, 3 – для р. Вандрас; 2, 2, 2 – для р. Лев и 0, 2, 4 – для р. Самсоновская. Валовое содержание металлов в образцах разного механического состава значительно различалось. Так, в «песчанистых суглинках» по сравнению с «песками» усредненные концентрации Mn были выше в 2,0 раза, Pb – в 3,5 раза, Cr – в 2,2 раза, Zn – в 2,5 раза, Ni – в 1,6 раз. Таким образом, при оценке степени загрязнения ДО тяжелыми металлами необходимо учитывать содержание в них гранулометрических фракций разной размерности. Наиболее тесные связи изученных металлов выявлены с содержанием фракции глинистых частиц. Установлена математическая зависимость между данными параметрами (рисунок). На основе полученных уравнений регрессии рассчитаны теоретические значения концентрации металлов в каждом образце ДО с тем или иным содержанием глинистых частиц. Сравнение фактически полученных результатов с те-

оретически рассчитанными позволило выявить образцы донных осадков с «аномальными» (т.е. значительно отклоняющимися от теоретических показателей) концентрациями элементов. На рисунке визуально можно наблюдать максимальные отклонения полученных концентраций (пунктирная линия) от теоретической кривой (сплошная черная линия).

Валовое содержание Mn в исследуемых образцах варьировало от 17 до 299 мг/кг и находилось в прямой зависимости от содержания фракции глинистых частиц ($r = +0,70$) и органического вещества ($r = +0,72$) в ДО. С процентным содержанием фракции песчаных частиц статистически значимых связей не выявлено. Существенных отклонений фактических значений Mn от теоретически рассчитанных не наблюдалось.

Содержание Pb в изученных образцах изменялось в интервале от 2,9 до 80 мг/кг. Относительно других металлов показатели Pb имели более тесные связи с количеством органического вещества ($r = +0,81$), фракции глинистых частиц ($r = +0,74$) и фракции песчаных частиц ($r = -0,71$) в ДО. В отдельных пробах (р. Самсоновская и р. Вандрас) фактические концентрации Pb незначительно превышали теоретические – в 1,4–1,6 раз (рисунок). Определены тесные связи Pb с Cr ($r = +0,84$) и Zn ($r = +0,84$).

Увеличение коэффициента корреляции для фракции менее 0,005 мм по Mn и Pb до 0,8 отмечено и в других работах [3].

Пределы колебаний Cr в образцах ДО составили от 0,9 до 26 мг/кг. Показатели Cr возрастали при увеличении доли глинистых частиц ($r = +0,73$) и содержания органического вещества ($r = +0,74$) и снижались при увеличении доли песчаных частиц ($r = -0,59$). В двух образцах (S_1 и V_6) практически полученные результаты в 1,6 раз превысили теоретические.

Минимальные показатели Zn в изученных образцах составили 0,9 мг/кг, максимальные – 29,5 мг/кг. Коэффициенты корреляции Zn с содержанием фракций глинистых, песчаных частиц и органического вещества в ДО составили соответственно +0,72, -0,71 и +0,72. Заметное превышение фактических результатов над теоретически рассчитанными наблюдалось только в образце S_1 (в 1,7 раза).

Валовое содержание Ni в ДО изменялось в диапазоне от 0,3 до 9,9 мг/кг. Определены относительно слабые связи показателей Ni с содержанием фракции глинистых

частиц ($r = +0,42$) и фракции песчаных частиц ($r = -0,42$), с количеством органического вещества, статистически значимых связей не выявлено. Профиль кривой, отражающей экспериментально полученные концентрации Ni, существенно отличался от профилей других металлов. Выраженные пики определены в образцах L_2 и L_6 (значения превышали теоретические в 1,9 раз). Данные образцы классифицировались соответственно как «песок» и «суглинистый песок» и характеризовались низким содержанием органического вещества. Высокие концентрации Ni в данных образцах могут быть связаны с антропогенным загрязнением, например загрязнением нефтепродуктами. Известно, что Ni является одним из наиболее распространенных токсичных элементов нефти (концентрация Ni в нефти может достигать 0,01 %).

Проведен сравнительный анализ содержания металлов в ДО четырех исследуемых рек. Минимальные значения исследуемых металлов определены в образцах ДО р. Демьянка, характеризующихся наиболее высоким содержанием фракции песчаных частиц и низким содержанием фракции глинистых частиц и органического вещества (табл. 2).

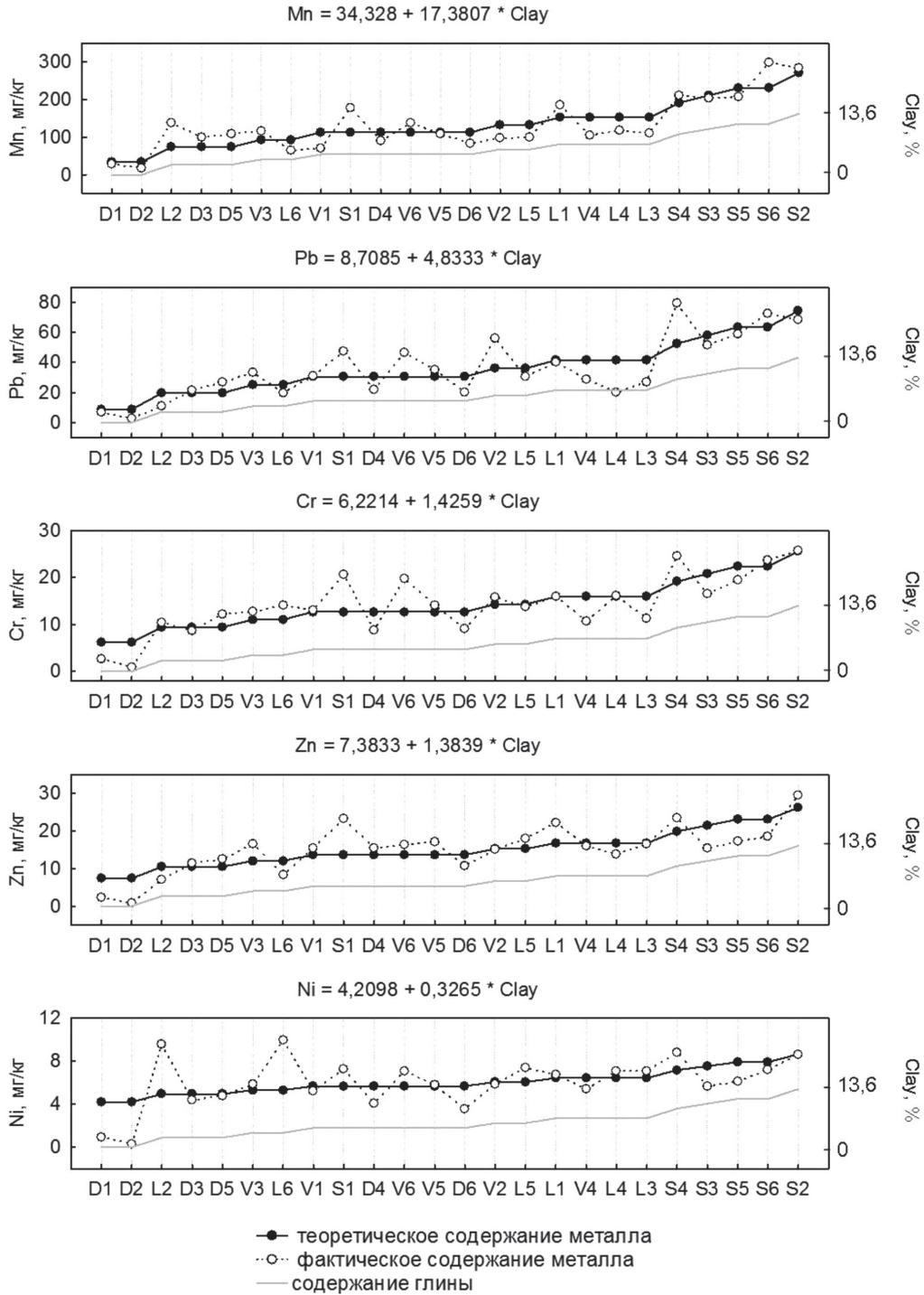
Максимальные значения Mn, Pb, Cr и Zn отмечены в образцах ДО р. Самсоновская, отличительной особенностью которых было высокое содержание органического вещества и фракции глинистых частиц (табл. 2). Концентрации всех изученных металлов отрицательно коррелируют со значениями содержания фракций песчаных частиц, что согласуется с данными других работ по исследованию ДО водоемов [3, 7].

Выводы

Определены валовые концентрации пяти металлов в донных отложениях некоторых рек ХМАО – Mn (19–299 мг/кг), Pb (2,9–80 мг/кг), Cr (0,9–26 мг/кг), Zn (0,9–30 мг/кг), Ni (0,3–9,9 мг/кг).

Установлены значимые положительные корреляции между концентрацией металлов в донных осадках и содержанием в них фракции глинистых частиц и органического вещества.

На основе полученных уравнений регрессии рассчитаны теоретические значения концентрации Mn, Pb, Zn, Cr и Ni в образцах донных отложений известного гранулометрического состава. При сравнении теоретических значений с фактически полученными результатами выявлены образцы с повышенными концентрациями металлов.



Фактическое и теоретическое содержание металлов в образцах донных отложений рек Демьянка (D), Лев (L), Вандрас (V) и Самсоновская (S) в зависимости от содержания фракции глинистых частиц (Clay, %)

Таким образом, различия в содержании металлов в ДО исследуемых рек обусловлены естественными причинами – различиями в содержании различных гранулометрических фракций и органического вещества. В содер-

жании Ni статистически значимых различий между ДО рек Самсоновская и Лев не выявлено. Как было отмечено выше, высокие концентрации Ni в песчаных ДО р. Лев могут быть связаны с антропогенным загрязнением.

Таблица 2

Химико-физический состав донных отложений исследуемых рек
(в левом столбце – значение медианы, в правом столбце – диапазон значений показателя)

Показатель, единица измерения	р. Демьянка		р. Вандрас		р. Лев		р. Самсоновская	
Mn, мг/кг	86,8	[28,9–99,5]	107	[98,9–117]	114	[99,7–139]	209	[204–284]
Pb, мг/кг	20,9	[6,9–21,9]	34,5	[31,3–46,8]	23,6	[19,5–30,8]	63,8	[51,6–72,7]
Cr, мг/кг	8,8	[2,6–9,2]	13,6	[12,8–15,9]	13,9	[11,4–16,1]	22,2	[19,5–24,6]
Zn, мг/кг	11,2	[2,4–12,5]	16,2	[15,5–16,6]	15,2	[8,4–18,0]	20,9	[17,3–23,5]
Ni, мг/кг	3,8	[1,0–4,4]	5,8	[5,4–5,9]	7,3	[7,1–9,6]	7,2	[6,1–8,6]
Фракция глинистых частиц, %	2,3	[0,0–4,5]	4,5	[4,5–5,7]	6,2	[3,4–6,8]	10,8	[9,1–11,3]
Фракция песчаных частиц, %	90,0	[85,0–100]	66,3	[55,0–80,0]	81,3	[75,0–90,0]	72,5	[65,0–85,0]
Фракция илистых частиц, %	6,6	[0,0–10,5]	28,6	[15,5–39,3]	13,6	[5,2–18,2]	17,5	[4,8–25,5]
Органическое вещество, %	0,19	[0,11–0,33]	0,52	[0,45–0,56]	0,24	[0,16–0,40]	1,47	[1,06–2,06]
pH, ед. pH	6,6	[6,4–7,1]	5,0	[5,0–5,3]	6,3	[6,1–8,1]	5,6	[4,6–6,5]

Статья подготовлена при финансовой поддержке ФАНО России в рамках темы ФНИ № 0408-2014-0019 «Миграционные процессы радионуклидов и химических поллютантов в экосистеме водоемов Обь-Иртышского бассейна».

Авторы выражают искреннюю благодарность коллегам – к.б.н. А.А. Чемагину, к.б.н. Е.И. Поповой за участие в отборе проб ДО.

Список литературы

1. Лукьянов С.А., Лебедев А.А., Шварцман Ю.Г. Гранулометрический состав донных отложений и его распределение в устьевой зоне р. Северной Двины / С.А. Лукьянов, А.А. Лебедев, Ю.Г. Шварцман // Arctic Environmental Research. – 2011. – № 2. – С. 12–19.
2. Влияние гранулометрического состава донных отложений на подвижность и токсичность тяжелых металлов в прибрежной зоне Финского залива Балтийского моря / Ю.М. Поляк [и др.] // Вода: химия и экология. – 2017. – № 1. – С. 11–18.
3. Слукковский З.И., Бубнова Т.П. Химический состав фракции < 0,1 мм отложений реки Неглинка – индикатор загрязнения городского водотока / З.И. Слукковский, Т.П. Бубнова // Учебные записки Петрозаводского государственного университета. – 2013. – № 4 (133). – С. 50–56.
4. Югай В.С., Даувальтер В.А. Особенности формирования гранулометрического состава донных отложений озера Большой Вудьявр / В.С. Югай, В.А. Даувальтер // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2011. – № 8. – С. 157–159.
5. Фракции тяжелых металлов – Cd, Cr, Pb в донных отложениях малых рек бассейна Верхней Оби – Самсоновская, Лев и Вандрас / Алимova Г.С. [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 10–1. – С. 93–95.
6. Алимova Г.С., Токарева А.Ю., Земцова Е.С. Средняя плотность запасов тяжелых металлов в донных отложениях малых рек бассейна Верхней Оби – Самсоновская, Лев и Вандрас / Г.С. Алимova, А.Ю. Токарева, Е.С. Земцова // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 10 – С. 110–113.
7. Опыт оценки загрязнения донных отложений нижнего течения реки Иртыш токсичными металлами / Земцова Е.С. [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 10–4. – С. 604–608.
8. Сравнительный анализ содержания металлов в донных отложениях некоторых рек Тюменской области / Земцова Е.С. [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2–26. – С. 5798–5802.

9. Определение гранулометрического состава грунтов (методические указания) / Сост. В.В. Фурсов, М.В. Балюра. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2007. – 21 с.

10. Пространственно-временное распределение тяжелых металлов в донных отложениях южной части Куяльнического Лимана / Г.Н. Шихалева [и др.] // Вестник ОНУ. Химия. – 2014. – Т. 19. – Вып. – 4(52). – С. 59–68.

References

1. Lukjanov S.A., Lebedev A.A., Shvarcman Ju.G. Granulometricheskij sostav donnyh otlozhenij i ego raspredelenie v ustevoj zone r. Severnoj Dviny / S.A. Lukjanov, A.A. Lebedev, Ju.G. Shvarcman // Arctic Environmental Research. 2011. no. 2. pp. 12–19.
2. Vlijanie granulometricheskogo sostava donnyh otlozhenij na podvizhnost i toksichnost tjazhelyh metallov v pribrezhnoj zone Finskogo zaliva Baltijskogo morja / Poljak Ju.M. [i dr.] // Voda: himija i jekologija. 2017. no. 1. pp. 11–18.
3. Slukovskij Z.I., Bubnova T.P. Himicheskij sostav frakcii < 0,1 mm otlozhenij reki Neglinki indikator zagraznenija gorodskogo vodotoka / Z.I. Slukovskij, T.P. Bubnova // Uchebnye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. 2013. no. 4 (133). pp. 50–56.
4. Jugaj V.S., Dauvalter V.A. Osobennosti formirovanija granulometricheskogo sostava donnyh otlozhenij ozera Bolshoj Vudjavr / V.S. Jugaj, V.A. Dauvalter // Trudy Fersmanovskoj nauchnoj sessii GI KNC RAN. 2011. no. 8. pp. 157–159.
5. Frakcii tjazhelyh metallov Cd, Cr, Pb v donnyh otlozhenijah malyh rek bassejna Verhnej Obi Samsonovskaja, Lev i Vandras / G.S. Alimova [i dr.] // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij. 2016. no. 10–1. pp. 93–95.
6. Alimova G.S., Tokareva A.Ju., Zemcova E.S. Srednjaja plotnost zapasov tjazhelyh metallov v donnyh otlozhenijah malyh rek bassejna Verhnej Obi Samsonovskaja, Lev i Vandras / G.S. Alimova, A.Ju. Tokareva, E.S. Zemcova // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. 2016. no. 10. pp. 110–113.
7. Opyt ocenki zagraznenija donnyh otlozhenij nizhnego techenija reki Irtysh toksichnymi metallami / Zemcova E.S. [i dr.] // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij. 2016. no. 10–4. pp. 604–608.
8. Sravnitelnyj analiz soderzhanija metallov v donnyh otlozhenijah nekotoryh rek Tjumenskoj oblasti / Zemcova E.S. [i dr.] // Fundamentalnye issledovanija. 2015. no. 2–26. pp. 5798–5802.
9. Opređenje granulometricheskogo sostava gruntov (metodicheskie ukazaniya) / Sost. V.V. Fursov, M.V. Baljura. Tomsk: Izd-vo Tom. gos. arhit.-stroit. un-ta, 2007. 21 p.
10. Prostranstvenno-vremennoe raspredelenie tjazhelyh metallov v donnyh otlozhenijah juzhnoj chasti Kujalnickogo Limana / G.N. Shihaleeva [i dr.] // Bestnik ONU. Himija. 2014. T. 19. Vyp. 4(52). pp. 59–68.

УДК 556.5

СХЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ МЕЖОТРАСЛЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

Косолапов А.Е., Калиманов Т.А., Капустин М.В.

ФГБУ «Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр», Ростов-на-Дону, e-mail: rwec@rwec.ru

В статье рассматривается роль Схем комплексного использования и охраны водных объектов в системе регулирования межотраслевого водопользования, приводятся данные о ходе их реализации. Установлено, что при разработке Схем КИОВО формируется стратегия среднесрочного и долгосрочного межотраслевого и территориального водопользования. Стратегические показатели водопользования служат основой подготовки договоров водопользования и решений о предоставлении водных объектов в пользование, а также разработки правил использования водных ресурсов водохранилищ. При текущем планировании и оперативном управлении через параметры водопользования, принятые в договорах и решениях, а также через режимы водохранилищ, установленные в соответствии с утвержденными правилами использования водных ресурсов водохранилищ, осуществляется практическое регулирование водопользования. Приведены фактические результаты реализации Схем КИОВО в целом по Российской Федерации и бассейновым округам, а также предложения по совершенствованию механизма их разработки и реализации.

Ключевые слова: водные объекты, Схема комплексного использования и охраны водных объектов, бассейн реки, правила использования водохранилищ, договор водопользования, решение о предоставлении водного объекта в пользование

SCHEMES OF INTEGRATED USE AND PROTECTION OF WATER OBJECTS IN THE SYSTEM OF REGULATION OF INTER-BRANCH INTERACTION AT THE MANAGEMENT OF WATER RESOURCES

Kosolapov A.E., Kalimanov T.A., Kapustin M.V.

Russian Information Analytical Research Water Economy Center, Rostov-on-Don, e-mail: rwec@rwec.ru

The article deals with the role of schemes for the integrated use and protection of water bodies in the regulation system of interindustry water use, provides information on the progress of their implementation. It is established that the strategy of medium-term and long-term inter-sectorial and territorial water use is being formed when developing the schemes of integrated use and protection of water bodies. Strategic indicators of water use serve as the basis for the preparation of water use agreements and decisions on the provision of water bodies for use, as well as the development of rules for the use of water resources in reservoirs. In the current planning and operational management through water use parameters adopted in contracts and decisions, as well as through reservoir regimes established in accordance with the approved rules for the use of water resources in reservoirs, practical regulation of water use is carried out. The actual results of the implementation of the schemes of integrated use and protection of water bodies for the whole of the Russian Federation and the basin districts, as well as proposals for improving the mechanism for their development and implementation are given.

Keywords: water objects, Scheme of integrated use and protection of water objects, rules for reservoir use, river basin, water use agreement, a decision to grant a water objects for use

В последние десять лет в Российской Федерации осуществлялась интенсивная разработка и утверждение Схем комплексного использования и охраны водных объектов (Схем КИОВО). Утверждению Схем КИОВО предшествовали сложные процедуры общественных слушаний, согласования с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов РФ. Сегодня разработаны и утверждены Схемы КИОВО по всем основным бассейнам рек.

Что же такое Схемы КИОВО, каково их место в действующей системе регулирования межотраслевого водопользования?

В соответствии со ст. 33 Водного кодекса РФ [1] Схемы КИОВО включают в себя систематизированные материалы о состоянии водных объектов и об их использовании и являются основой осуществления водохозяйственных мероприятий и мероприятий по охране водных объектов, расположенных в границах речных бассейнов. Разработка Схем КИОВО осуществляется в целях: определения допустимой антропогенной нагрузки на водные объекты; определения потребностей в водных ресурсах в перспективе; обеспечения охраны водных объектов; определения основных направлений деятельности по предотвращению негативного воздей-

ствия вод. В процессе разработки Схем КИОВО устанавливаются: целевые показатели качества воды в водных объектах на период действия этих схем; перечень водохозяйственных мероприятий и мероприятий по охране водных объектов; водохозяйственные балансы, предназначенные для оценки количества и степени освоения доступных для использования водных ресурсов в границах речных бассейнов; лимиты забора (изъятия) водных ресурсов из водного объекта и лимиты сброса сточных вод, соответствующих нормативам качества; квоты забора (изъятия) водных ресурсов из водного объекта и сброса сточных вод, соответствующих нормативам качества; основные целевые показатели уменьшения негативных последствий наводнений и других видов не-

гативного воздействия вод, перечень мероприятий, направленных на достижение этих показателей; предполагаемый объем необходимых финансовых ресурсов для реализации Схем КИОВО.

Материалы Схем КИОВО являются обязательными для органов государственной власти, органов местного самоуправления.

Водной стратегией РФ [2] Схемы КИОВО рассматриваются как основной инструмент обеспечения комплексного использования водных объектов и принятия решений в области управления водными объектами в среднесрочной и долгосрочной перспективе.

По своей сущности и технологии разработки, согласования и утверждения Схемы КИОВО являются важнейшим звеном в действующей системе регулирования межотраслевого водопользования (рис. 1) [3].

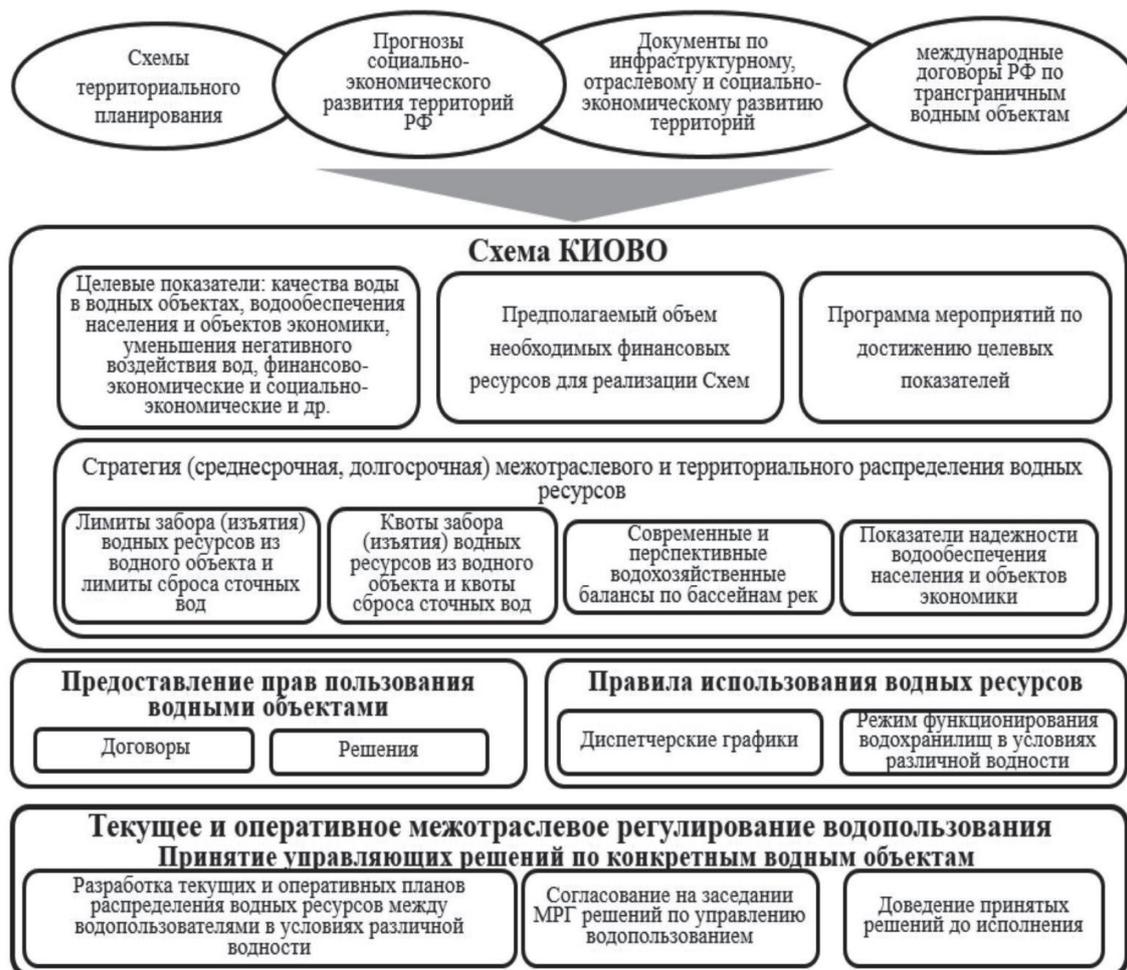


Рис. 1. Схема межотраслевого регулирования водопользования

Действительно, учет отраслевых и территориальных водноресурсных запросов, формирование приоритетов регулирования водных правоотношений в рамках бассейнов рек достигается участием заинтересованных федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов РФ уже на стадии разработки, согласования и утверждения Схем КИОВО, т.е. непосредственно в процессе разработки Схем КИОВО заинтересованные органы исполнительной власти имеют возможность заявлять и отстаивать свои отраслевые и территориальные водноресурсные интересы, степень удовлетворения которых зависит от возможностей водного объекта. В условиях напряженной водохозяйственной обстановки в бассейнах рек степень удовлетворения отраслевых и территориальных потребностей в водных ресурсах устанавливается, как правило, на условиях компромиссов с учетом сформированных в Схемах КИОВО приоритетов различных видов водопользования.

Поскольку в рамках Схем КИОВО разрабатываются водохозяйственные балансы, предназначенные для оценки количества и степени освоения доступных для использования водных ресурсов в условиях различной водности, а также устанавливаются лимиты забора (изъятия) водных ресурсов из водного объекта и лимиты сброса сточных вод, а также квоты забора (изъятия) водных ресурсов из водного объекта и сброса сточных вод, то очевидно, что в составе Схем КИОВО фактически формируется среднесрочная и долгосрочная (на период действия утвержденных Схем КИОВО) стратегия межотраслевого и территориального распределения водных ресурсов, включая основные принципы и показатели межотраслевого и территориального водопользования.

Показатели отраслевого и территориального водопользования, установленные в Схемах КИОВО, в дальнейшем служат основой для подготовки договоров водопользования и решений о предоставлении водных объектов в пользование, а также при разработке правил использования водных ресурсов (ПИВР) водохранилищ [4]. Отметим также, что при подготовке договоров водопользования и решений на право пользования водными объектами территориальные органы Росводресурсов исходят из потребностей отдельных водопользователей с учетом фактической водохозяйственной обстановки на водных объектах, из которых забираются водные ресурсы или в которые

сбрасываются сточные воды после использования. При разработке ПИВР водохранилищ учет отраслевых и территориальных запросов в водных ресурсах достигается учетом заявок водопользователей, а также участием их представителей в процессе согласования правил.

В рамках текущего планирования и оперативного управления через параметры, установленные в договорах и решениях, а также через режимы регулирования стока, в строгом соответствии с утвержденными ПИВР, подготавливаются варианты режимов функционирования водохранилищ, включая распределение водных ресурсов между водопользователями, которые в обязательном порядке рассматриваются на заседаниях межведомственных рабочих групп по регулированию режимов работы водохранилищ (МРГ). Учет интересов водопользователей при установлении режимов работы водохранилищ достигается за счет участия в составе МРГ должностных лиц территориальных органов и подведомственных организаций Федерального агентства водных ресурсов, территориальных органов (подведомственных организаций) МЧС России, Ростехнадзора, Росгидромета, Росрыболовства, Росморречфлота, органов исполнительной власти субъектов РФ, заинтересованных организаций.

Приведенные выше рассуждения показывают, что действующая сегодня система межотраслевого регулирования водопользования включает три основных этапа: стратегический, на котором в рамках Схем КИОВО определяется среднесрочная и долгосрочная стратегия межотраслевого водопользования; тактический, на котором с использованием стратегических показателей водопользования разрабатываются ПИВР водохранилищ, договоры и решения; оперативный, на котором на основе утвержденных разрешительных документов и ПИВР водохранилищ практически реализуется регулирование межотраслевого водопользования. Очевидно, что основным звеном в действующей системе регулирования водопользования являются Схемы КИОВО, т.к. в процессе их разработки определяются стратегические параметры водопользования, используемые в дальнейшем при подготовке тактических и оперативных решений в границах бассейнов рек.

В настоящее время разработано и утверждено 69 Схем КИОВО. Некоторые показатели разработки Схем КИОВО приведены в таблице и на рис. 2.

Сводные показатели разработки мероприятий Схем КИОВО

Количество запланированных мероприятий	ед.	15361
Стоимость запланированных мероприятий	млрд руб.	3605,135
Количество запланированных мероприятий на период до 01.01.2017 г.	ед.	12187
Стоимость запланированных мероприятий на период до 01.01.2017 г.	млрд руб.	1869,694



Рис. 2. Структура финансирования мероприятий Схем КИОВО в период до 01.01.2017 г.



Рис. 3. Средние показатели реализации мероприятий по бассейновым округам

Показатели выполнения программы мероприятий Схем КИОВО, как по количеству, так и по стоимости, значительно варьируют по отдельным бассейнам рек и бассейновым округам (рис. 3, 4).

Иллюстрация реализации мероприятий Схем КИОВО, приведенная на рис. 3, 4, позволяет сделать следующие выводы:

– механизм реализации Схем КИОВО функционирует;

– имеет место отставание от запланированных показателей реализации мероприятий Схем КИОВО.

Выводы

Приведем основные объективные причины, обусловившие отставание фактических показателей реализации программ мероприятий Схем КИОВО от запланированных.

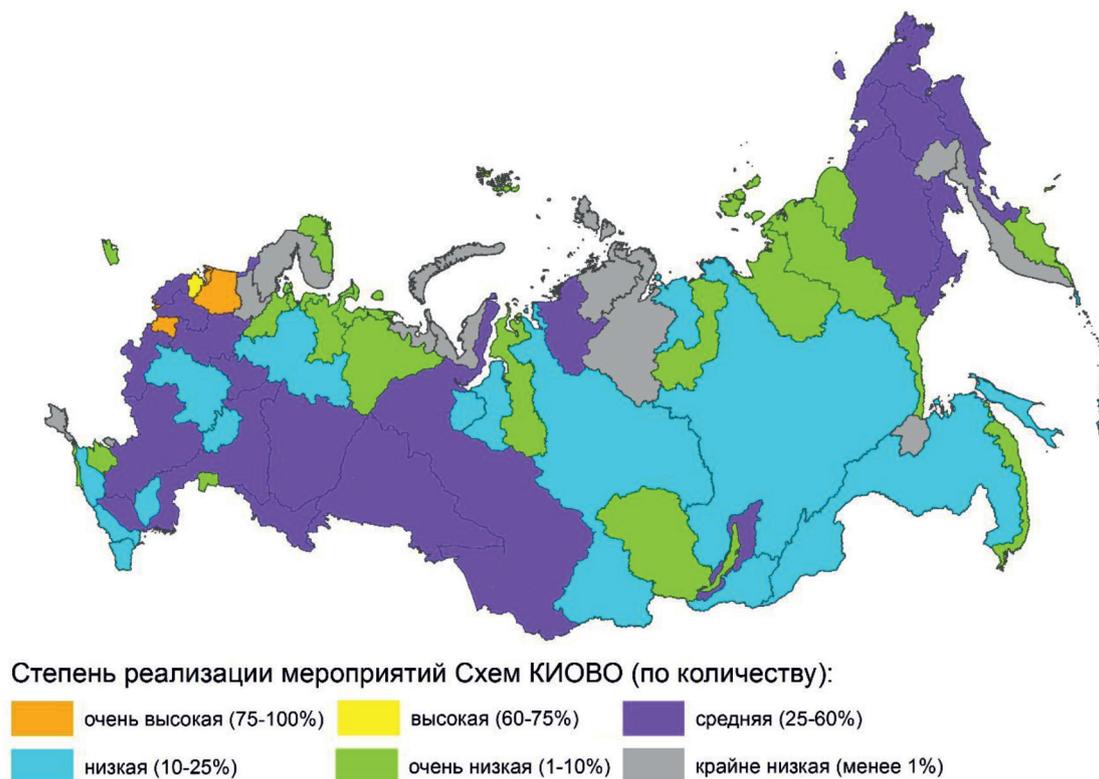


Рис. 4. Кластеры Схем КИОВО по степени реализации мероприятий (по количеству) на 01.01.2017 г. (рисунок подготовлен на основе картографического материала масштаба 1:1 000 000)

1. Разработка Схем КИОВО, проведение общественных слушаний и государственной экологической экспертизы осуществлялись в основном в 2008–2012 гг. Соответственно, начало реализации мероприятий планировалось на 2011–2012 гг. Утверждение Схем состоялось в 2014 г. В связи с чем произошли сдвиги в графике реализации Схем КИОВО. Кроме того, необходимо учитывать, что в условиях рыночной экономики практически очень сложно выдержать план и структуру финансирования мероприятий из бюджетов различных уровней и тем более за счет средств физических и юридических лиц на десятки лет. Возможности реализации программ мероприятий реально можно оценить на среднесрочную перспективу, и при этом возможность реализации мероприятий в каждом году определяется финансовыми условиями каждого бюджетного года.

2. На момент разработки Схем КИОВО при формировании водоохранных, водохозяйственных мероприятий и мероприятий по защите от негативного воздействия вод разработчики Схем КИОВО руководствовались федеральными и региональными це-

левыми программами. На данный момент некоторые программы не действуют, взамен разработаны новые, в другие внесены изменения по ряду мероприятий, а некоторые мероприятия исключены, ряд мероприятий не финансируется.

3. Отсутствуют нормативно-правовые документы, делающие «привязку» региональных (муниципальных) программ к Схеме обязательной. Соответственно, не предусмотрена и ответственность за «игнорирование» требований Схемы или невыполнение предусмотренных в ней мероприятий. Таким образом, региональные и местные органы власти могут не включать предусмотренные Схемными мероприятия в свои программы или заменять их другими, не информируя об этом Росводресурсы.

4. В территориальных органах Росводресурсов отсутствуют полномочия по мониторингу реализации Схем КИОВО в части исполнения мероприятий, не входящих в полномочия Росводресурсов, а для муниципальных органов власти и органов исполнительной власти отсутствуют соответствующие нормативно-правовые акты, обязывающие их отчитываться по реали-

зации мероприятий Схем КИОВО. Отсутствие полномочий и соответствующих нормативно-правовых актов значительно затрудняет межведомственное взаимодействие при получении актуальной информации от органов муниципальной власти и органов исполнительной власти в части реализации каких-либо мероприятий, предусмотренных Схемами КИОВО.

Значимость Схем КИОВО, как одного из основных инструментов государственной политики в области управления водными ресурсами, и те функции, которые выполняют в системе регулирования межотраслевого водопользования, предполагают необходимость совершенствования механизма их разработки и реализации.

Предложения по совершенствованию механизма разработки и реализации Схем КИОВО.

1. Актуализировать существующее и разработать недостающее методическое обеспечение по разработке, утверждению, реализации и внесению изменений в Схемы КИОВО. Увязать детальность проработки Схем КИОВО с наличием и составом реально имеющейся информации. Сократить состав материалов Схем.

Упростить процедуры внесения изменений в Схемы КИОВО [5] и прохождения государственной экологической экспертизы при утверждении и корректировке Схем КИОВО.

2. Разработать нормативно-правовые документы, обязывающие осуществлять «привязку» региональных (муниципальных) программ к Схеме и предусматривающие ответственность за «игнорирование» требований Схемы или невыполнение предусмотренных в ней мероприятий.

3. Увеличить роль бассейновых советов в разработке Схем КИОВО, мониторинге реализации схем, подготовке предложений по их совершенствованию. При разработке рекомендаций по формированию перечня водохозяйственных, водоохраных мероприятий и мероприятий, направленных на снижение негативного воздействия вод, намечаемых для реализации в границах бассейнового округа за счет различных источников, учитывать приоритетность мероприятий Схем КИОВО.

4. Предусмотреть возможность корректировки Схем КИОВО чаще, чем один раз в пять лет, в случае существенных из-

менений водохозяйственной обстановки, параметров развития водохозяйственного комплекса речного бассейна, а также если анализом хода выполнения мероприятий Схемы по результатам мониторинга ее реализации фиксируются значительные отклонения от установленных для принятых этапов значений целевых показателей.

Список литературы

1. Водный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 03.06.2006 № 74-ФЗ [Последняя действующая редакция с изменениями и дополнениями от 31.10.2016]. – URL: <https://dokumenty24.ru/vodnyi-kodeks.html> (дата обращения: 10.06.2017).

2. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 августа 2009 г. № 1235-р (актуально в 2017 году). – URL: <http://www.zakonprost.ru/content/base/part/634541> (дата обращения: 10.06.2017).

3. Об утверждении Методических указаний по разработке схем комплексного использования и охраны водных объектов [Электронный ресурс]: приказ МПР РФ от 04.06.2007 г. N 169. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_70468/ (дата обращения: 10.06.2017).

4. Об утверждении методических указаний по разработке правил использования водохранилищ: приказ Минприроды РФ от 26.01.2011 № 17 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти: изд-во «Юридическая литература» № 26. 27.10.2011.

5. О порядке разработки, утверждения и реализации схем комплексного использования и охраны водных объектов, внесения изменений в эти схемы [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 30.12.2006 № 883 (ред. от 31.08.2015). – URL: <http://legalacts.ru/doc/postanovlenie-pravitelstva-rf-ot-30122006-n-883/> (дата обращения: 10.06.2017).

References

1. Vodnyj kodeks Rossijskoj Federacii [Jelektronnyj resurs]: Federalnyj zakon ot 03.06.2006 no. 74-FZ [Poslednaja dejstvujushhaja redakcija s izmenenijami i dopolnenijami ot 31.10.2016]. URL: <https://dokumenty24.ru/vodnyi-kodeks.html> (data obrashhenija: 10.06.2017).

2. Vodnaja strategija Rossijskoj Federacii na period do 2020 goda [Jelektronnyj resurs]: rasporzazhenie Pravitelstva Rossijskoj Federacii ot 27 avgusta 2009 g. no. 1235-r (aktualno v 2017 godu). URL: <http://www.zakonprost.ru/content/base/part/634541> (data obrashhenija: 10.06.2017).

3. Ob utverzhenii Metodicheskikh ukazanij po razrabotke shem kompleksnogo ispolzovanija i ohrany vodnyh obektov [Jelektronnyj resurs]: prikaz MPR RF ot 04.06.2007 g. N 169. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_70468/ (data obrashhenija: 10.06.2017).

4. Ob utverzhenii metodicheskikh ukazanij po razrabotke pravil ispolzovanija vodohranilishh: prikaz Minprirody RF ot 26.01.2011 no. 17 // Bjulleten normativnyh aktov federalnyh organov ispolnitelnoj vlasti: izd-vo «Juridicheskaja literatura» no. 26. 27.10.2011.

5. O porjadke razrabotki, utverzhenija i realizacii shem kompleksnogo ispolzovanija i ohrany vodnyh obektov, vnesenija izmenenij v jeti shemy [Jelektronnyj resurs]: Postanovlenie Pravitelstva RF ot 30.12.2006 no. 883 (red. ot 31.08.2015). URL: <http://legalacts.ru/doc/postanovlenie-pravitelstva-rf-ot-30122006-n-883/> (data obrashhenija: 10.06.2017).

УДК 911.2:528.9

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ И ОБЗОР СОДЕРЖАНИЯ КАРТЫ «ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА БАСЕЙНА ОЗЕРА БАЙКАЛ»

Кузнецова Т.И.

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

В статье представлен теоретико-методический инструментарий исследования основных факторов и закономерностей дифференциации природных комплексов Евразии. Его специфика заключается в использовании принципов и методов ландшафтного картографирования, усовершенствованных на основе представлений о геосистемах и их свойствах. Проведена картографическая инвентаризация природных условий крупного региона и разработана обзорная карта «Ландшафтно-экологическая среда бассейна озера Байкал». Легенда карты создана на основе прикладной классификации геосистем с использованием представлений о факторах их организации, целостности, иерархичности, динамики, устойчивости, чувствительности, интегральной интенсивности функционирования. На карте нашли свое подробное отражение природные характеристики исследуемого региона. Основными объектами картографирования являются геосистемы регионально-топологической размерности: геомы и их классификационные группировки. Полученная карта универсального экологического содержания предназначена для разработки специальных карт «Ресурсы среды: Экологические ресурсы ландшафтов бассейна озера Байкал» Экологического атласа. Представленное системное и экологическое картографическое произведение интегрирует в себе ряд прежних и современных достижений картографии, поднимая их на более высокий методологический и методический уровень.

Ключевые слова: озеро Байкал, геосистемы, специализированная классификация, пространственная дифференциация, картографирование

PRINCIPLES OF CREATION AND REVIEW OF THE MAP CONTENT «LANDSCAPE-ECOLOGICAL ENVIRONMENT OF THE LAKE BAIKAL BASIN»

Kuznetsova T.I.

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

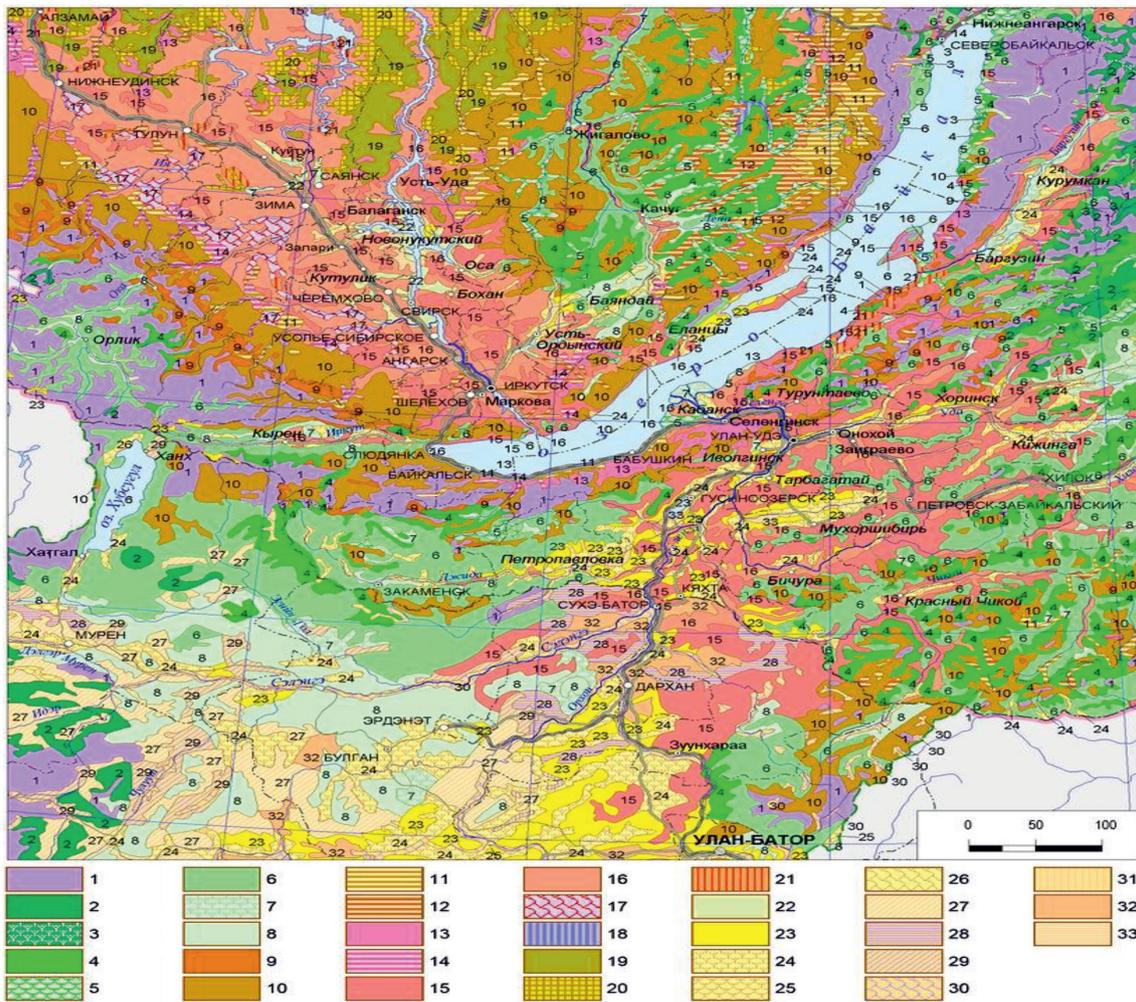
The article presents a theoretical and methodological tool for studying the main factors and patterns of differentiation of natural complexes of Eurasia. Its specificity lies in the use of principles and methods of landscape mapping, improved on the basis of ideas about geosystems and their properties. A cartographic inventory of the natural conditions of a large region was conducted and a survey map «Landscape-Ecological Environment of the Lake Baikal Basin» was developed. The legend of the map was created on the basis of applied classification of geosystems using the concepts of the factors of their organization, integrity, hierarchy, dynamics, stability, sensitivity, and the integrated functioning intensity. The natural characteristics of the region were reflected in detail on the map. The main objects of mapping are geosystems of regional-typological dimension: geomes and their classification groupings. The obtained map with universal ecological content is intended for the development of special maps «Environment Resources: Ecological Resources of Landscapes of the Lake Baikal Basin» of the Ecological Atlas. The presented system and ecological mapping product integrates a number of previous and modern achievements of mapping, raising them to a higher methodological and methodological level.

Keywords: Lake Baikal, geosystems, specialized classification, spatial differentiation, mapping

Инвентаризационные карты ландшафтно-экологической среды структурно-динамического содержания являются важным инструментом оценки потенциальных экологических возможностей территории. Методологические основы создания этого класса тематических карт были заложены В.Б. Сочавой [1], а их прикладной аспект, в частности методика геосистемного геоэкологического картографирования, разработан В.С. Михеевым [2]. В данном исследовании предлагается развитие этой методики для целей мелкомасштабного обзорного картографирования ландшафтно-экологической среды территории бассейна озера Байкал, проводимого по программе создания электронного атласа.

Исследуемая территория, относящаяся к двум суверенным государствам – России и Монголии, в части картографирования

ландшафтно-экологической среды представляет большой интерес, и в настоящее время она достаточно хорошо изучена. Вместе с этим следует отметить, что существующая многочисленная территориально разрозненная картографическая информация не согласуется между собой и в плане используемых научных концепций для создания тематических карт. Это снижает возможность их сопоставления и сопряженного анализа, а значит, использования для целей экологической оценки и прогнозирования. С научной и практической точек зрения для этого очень важно методологическое единство создания карт природной среды в самом разном диапазоне масштабов. В этом плане мелкомасштабное картографирование позволяет учесть наиболее общие закономерности пространственной дифференциации условий природной среды.



Ландшафтно-экологическая среда бассейна озера Байкал (фрагмент карты, авторы: к.г.н. Т.И. Кузнецова, к.г.н. Д.А. Лопаткин, к.г.н. А.В. Бардаш) (подписи к рисунку – см. таблицу)

Инвентаризационная электронная карта (1:5 000 000) «Ландшафтно-экологическая среда бассейна озера Байкал» (рисунок) является базовой в блоке производных тематических карт Атласа «Ресурсы среды: Экологические ресурсы ландшафтов». Ее назначение – показать основные закономерности пространственной дифференциации условий природной среды посредством отображения типологических комплексов.

В качестве базовой информационной основы использовались карты: «Природные ландшафты Байкальского региона и их использование» [3], «Природный каркас бассейна озера Байкал» [4], а также «Рельеф», «Ландшафты», «Растительность», «Климатическое районирование» и «Природное районирование» Национального атласа Монгольской Народной Республики [5].

Принципы создания карты

Научную основу создания карты составляет конструктивный подход [6] как прикладной аспект познания природной среды. Основной принцип исследования природной среды бассейна озера Байкал заключается в признании, во-первых, зависимости природных условий от общегеографических закономерностей и особенностей исследуемой территории, а во-вторых, способности природы создавать специфическую экологическую среду, в том числе определяющую или лимитирующую особенности жизнедеятельности людей. Такое слияние научно-тематического и прикладного аспектов исследования вызывает необходимость внесения в общенаучную классификацию природной среды конструктивной составляющей, которая, согласно программе атлас-

ного картографирования, должна содержать элементы физико-географической информации экологического содержания.

В соответствии с целевым назначением карты разработана специализированная классификация природной среды. Для этого используется геосистемная геоэкологическая концепция [2]. Теория системности вооружает идеей целостности, иерархичности, внутри- и внешеструктурной взаимосвязи и взаимозависимости компонентов, саморегулирования, а также обеспечивает определение местоположений и границ геосистем. Геоэкологический подход обеспечивает комплексность решения проблемы: он позволяет рассматривать геосистемы как совокупности экологической среды и среды жизнедеятельности человека, и в этом плане каждая геосистема выступает в качестве своеобразной информационной ячейки сосредоточения разнообразной географической информации. Основным критерием ее отбора является выявление тех характеристик геосистем, которые наиболее полно обеспечивают решение целевых задач.

Иерархия геосистем территории бассейна озера Байкал разработана на основе «таксономической системы иерархических подразделений геосистем» В.Б. Сочавы [1, с. 38]. Для регионального уровня картографирования исследуемого региона основными таксономическими единицами были определены геомы как ранг геомеров, стоящий на грани между подразделениями природной среды региональной и топологической размерности, характеризующийся сходными гидроклиматическими, почвенными и фитотипологическими характеристиками. Выделы геомов российской территории, отображенные на карте, представляют собой обобщение подразделений геосистем карты «Природные ландшафты Байкальского региона и их использование» [3]. В силу отсутствия крупномасштабных геосистемных карт на монгольскую территорию, выделение геомов проводилось не посредством интеграции фаций в группы фаций и классы фаций, а затем – в геомы, а методом «сверху» в рамках групп и подгрупп геомов, выделенных на основе анализа карт рельефа, растительности, климатического и природного районирования Монголии.

Полученные посредством геосистемного анализа и отмеченные в табличной легенде карты (таблица) типологические характеристики геомов и их классификационных объединений дают представление

о комплексе природных условий исследуемой территории. Они являются индикаторами экологических условий конкретных местоположений геосистем (склоновых, подгорных, межгорных понижений, долинных), определяющих основные ландшафтообразующие процессы и гипертрофированные природные факторы: литоморфность, гидроморфность, криоморфность, соляную и циркуляционную экспозиционность, эффект барьерных подножий и пр., которые могут, в том числе осложнять условия использования геосистем.

Функциональный геосистемный анализ российской части исследуемой территории выполнен на основе данных карты «Природные ландшафты Байкальского региона и их использование» [3]. Для монгольской территории использованы данные карт «Агроклиматические ресурсы», «Биологическая продуктивность климата» Национального Атласа Монголии [5] и литературные данные [7]. Влагообеспеченность местоположений геосистем определялась по карте растительности Национального атласа Монголии с использованием метода фитоиндикации и концепции «климатических фаций». На основе анализа тепло-, влагообеспеченности и биологической продуктивности растительности выделено восемь категорий интегральной интенсивности функционирования геосистем, индицирующих комплекс экологических условий их местоположений (см. таблицу).

Далее по данным геосистемного функционального анализа проведено исследование стабилизирующей динамики геосистем бассейна озера Байкал. Для этого исследовалось все, относящееся к саморегулированию геосистем как свойству, имеющему непосредственное практическое значение при разработке прогнозов изменений природных условий, возникающих при тех или иных воздействиях на геосистему извне или при спонтанном ее развитии [8]. В легенде карты (см. таблицу) саморегулирование геосистем соотносится с интегральной интенсивностью функционирования по принципу оптимальности и с продуктивностью растительного компонента, по принципу максимума: чем больше, тем лучше. При оптимальных условиях развития саморегулирование геосистем наиболее действенно: геосистемы в этом случае характеризуются меньшей чувствительностью к внешним факторам воздействия, а следовательно, большей экологической устойчивостью как способностью противостоять внешнему

воздействию. Напротив, у геосистем редуцированных условий развития (с недостатком тепла или избытком влаги) и низкой биологической продуктивностью свойство саморегулирования наименее действенно,

и они оказываются более чувствительными и экологически менее устойчивыми. Степень действенности саморегулирования выражена в относительных категориях от самой низкой (I) – до самой высокой (VI).

Основные ландшафтные структуры и их свойства

Основные ландшафтные структуры Экологические условия. Саморегулирование (I–VI), Экологический потенциал (ЭП)	Чувствительность/устойчивость к внешнему воздействию Соотношение тепла и влаги Биологическая продуктивность
1	2
Североазиатские аркто-бореальные	
1. Экстремальных условий развития. (I), ЭП низкий	
Высокогорные гольцово-верхнетаежные восточносибирского и южно-сибирского типа (альпинотипные, субальпинотипные, гольцовые, подгольцовые) (1, с)	Очень высокая/Очень низкая Очень значительный дефицит тепла, избыток влаги. Минимальная и низкая продуктивность
2. Редуцированного развития. (II), ЭП относительно низкий	
Горно-таежные лиственничные (2, м), таежные лиственничные (3, м) и темнохвойные (4, с) байкало-джугджурского типа; горнотаежные темнохвойные южносибирского типа (10, м)	Высокая/Низкая Значительный дефицит тепла избыток влаги Низкая и средняя продуктивность
3. Ограниченного развития. (VI), ЭП очень высокий	
Горно-таежные (5, к) и таежные (6 м) лиственничные байкало-джугджурского типа; горно-таежные темнохвойные южносибирского типа (11, к); таежные темнохвойные южносибирского типа (12, м); таежные кедрово-лиственничные южносибирского типа (13, м)	Очень низкая/Очень высокая Оптимальное соотношение тепла и влаги, Повышенная продуктивность
4. Оптимального развития. (V), ЭП высокий	
Горно-таежные лиственничные байкало-джугджурского типа (7, м), таежные лиственничные байкало-джугджурского типа (8, м, уд); горно-таежные (14, м) и таежные (15, м) темнохвойные южносибирского типа; южнотаежные темнохвойные возвышенностей (19, м) и равнин (20, м) среднесибирского типа	Низкая/Высокая Некоторый избыток влаги Повышенная и высокая продуктивность
Североазиатские семиаридные	
5. Оптимального развития с незначительным дефицитом влаги. (IV), ЭП относительно высокий.	
Подтаежные лиственничные байкало-джугджурского типа (9, п, уд); горнотаежные сосновые (16, м) и подгорные подтаежные сосновые южно-сибирского типа (17, п, уд); подгорные подтаежные болотные в сочетании с сосняками южносибирского типа (18, с)	Относительно низкая /Относительно высокая Средне- и повышеннопродуктивные
6. Оптимального развития с некоторым дефицитом влаги (III), ЭП средний	
Сосновые боровые равнин и долин среднесибирского типа (21, с); лугово-степные южно-сибирского типа подгорных равнин и долинные (22, уд, с)	Средняя/Средняя Среднепродуктивные
Центрально-Азиатские (Дауро-Монгольские) аридные	
7. Редуцированного развития с значительным дефицитом влаги. (II), ЭП относительно низкий.	
Горностепные (23, к) и степные подгорные (24, м, уд), днищ котловин мерзлотные (25, м, уд), долинные (26, с, уд) западно-забайкальские даурского типа; горностепные (27, к), подгорные (28, м, уд), днищ котловин (29 м, уд), долинные (30, с, уд) северомонгольские хангайского типа	Относительно высокая /Относительно низкая Низко- и среднепродуктивные
8. Редуцированного развития с очень значительным дефицитом влаги. (I), ЭП низкий	
Высоких равнин и денудационных плато среднехалхаско-восточно-монгольские: пологосклонные (31, к, уд) и высоких равнин (32, к, уд), низинные бессточных депрессий и побережий озер (33, п)	Высокая/Низкая Средне-, низко- и минимально продуктивные

Примечание. В скобках обозначены: цифрами основные ландшафтные структуры (см. рисунок), буквами их устойчивость.

Значения саморегулирования соотносятся с экологическим потенциалом (ЭП) геосистем (см. таблицу), который рассматривается как комплексная характеристика условий природной среды, полученная посредством совместного анализа климатических параметров местоположений геосистем (тепло- и влагообеспеченность), биологической продуктивности растительности, чувствительности и экологической устойчивости геосистем. В легенде карты ЭП геосистем подразделяется на «низкий», «относительно низкий», «средний», «очень высокий», «высокий», «относительно высокий».

Для определения возможностей геосистемы восстанавливаться после прекращения внешнего, в том числе антропогенного, воздействия проведен структурно-динамический геосистемный анализ. Определялась степень уравновешенности внутрифункциональных характеристик геосистем с внешнефункциональными пределами условий их формирования (подклассы геомов), выделен геом основного типа, или коренной, и относительно него установлено динамическое качество всех других. На основе полученных характеристик степени уравновешенности геомов своему внешнему окружению установлена степень устойчивости геосистем как способности к восстановлению (к – коренные – наиболее устойчивые; м – мнимокоренные – устойчивые; с – серийные – менее устойчивые; п – переходные – малоустойчивые; уд – устойчиво длительнопроизводные разной степени изменности) (см. таблицу).

Демонстрационный вариант легенды карты представлен в форме таблицы, которая отражает типологические, функциональные и динамические характеристики геосистем с экологической интерпретацией их содержания.

Обзор содержания карты

Геосистемы исследуемой территории (рисунок) относятся к четырем физико-географическим ландшафтным областям – Среднесибирской, Южно-Сибирской, Байкало-Джугджурской, Центрально-Азиатской (Дауро-Монгольской) [9]. Их структурное разнообразие определяется историко-эволюционным развитием региона, географическим положением в центре азиатского материка и значительным простиранением территории в субмеридиональном и в субширотном направлении. В целом структура геосистем сложна и по набору природных комплексов, и по степени их

контрастности. На принадлежность геосистем к различным комплексам природных условий указывают региональные характеристики геосистем, представленные в легенде карты.

Большое значение для отображения закономерностей дифференциации природной среды имеет показ вариантов сочетания тундрового, таежного и степного ее типов. Например, дифференциация горной части территории на котловины с резко континентальным климатом и хребты с континентальными условиями определила наличие в котловинах контакта природных комплексов континентального лесного (лиственничного, соснового) и аридного (сухие степи, лесостепи) типа геосистем. Наряду с этим на карте отображено проявление природных особенностей одной области в пределах другой. Так, например, южносибирские геосистемы по западным, более влажным, склонам Прибайкальских хребтов заходят далеко вглубь Байкало-Джугджурской области. Центральноазиатские ландшафты кроме области своего основного развития широко распространены в межгорных понижениях, занимающих особенно большие территории в восточной части Южно-Сибирской области – в Южном Забайкалье, а по днищам котловин они проникают в пределы Байкало-Джугджурской области. В Восточное Забайкалье, в бассейне рек Тунгира и Олекмы, заходят ландшафты маревого типа и участки лиственничной тайги, принадлежащие к Амуру-Сахалинской ландшафтной физико-географической области.

Гольцовые альпинотипные нивально-гляциальные геосистемы южносибирского типа, сформировавшиеся под воздействием снежников и ледников, распространены, как правило, на отметках высот в интервале 2600–4000 м. Здесь наблюдаются скальные, обвально-осыпные склоны, развиваются солифлюкционные процессы. На территориях, имеющих приблизительно такие же отметки абсолютных высот и характеризующихся континентальными природными условиями, формируется гольцово-тундровый тип геосистем. В окружении оз. Байкал большие площади занимают гольцово-тундровые геосистемы восточносибирского типа.

В высокогорьях Прихубсугулья, преимущественно на южных склонах, распространены высокогорные луговые геосистемы южносибирского типа на глеевых горно-луговых и дерновых почвах, а также

встречаются криофитноразнотравно-дерновиннозлаковые степи на горно-лугово-степных почвах. Гольцовые геосистемы, приуроченные к плоским вершинам и пологим склонам северной и центральной части макросклона Хангая, представлены тундрами (кустарниковыми, кустарничковыми, травяными) с фрагментами криофитнотравяных лугов и высокогорных криофитно-разнотравных дерновиннозлаковых степей.

Для подгольцово-редколесных геосистем Прибайкалья, Прихубсугулья, северного склона Хангая и Забайкалья характерны лиственничные и темнохвойные, преимущественно кедровостланниковые или ерниковые геосистемы с фрагментами овсяницево-моховых или кобрезиевых вариантов. Для вершинных поверхностей гор Хэнтэй наиболее характерны подгольцовые темнохвойно-редколесные, преимущественно кедровые кустарничково-зеленомошные или кедрово-лиственничные ерnikово-моховые и ерnikово-кустарничково-моховые варианты.

Своеобразие структуры геосистем исследуемой территории заключается в большом разнообразии представленных таежных ландшафтов. В легенде к карте они подразделены по интенсивности функционирования на категории экологических условий: редуцированного, оптимального, ограниченного развития, а также псевдотаежные и подтаежные (см. таблицу).

Структура таежных геосистем среднесибирского типа, распространение которых приурочено к северным и отчасти центральным территориям исследуемого региона, формируется под влиянием азиатского антициклона, западных влажных воздушных масс и холодного арктического воздуха. На исследуемой территории эти геосистемы представлены лиственнично-таежными, темнохвойно-таежными, сосновыми борowymi и подтаежными лиственничными и сосновыми геомами. Северотаежные среднесибирского типа лиственничные геосистемы чаще встречаются на низких равнинах, водоразделах, понижениях и по берегам озер. Среднетаежные лиственничные среднесибирского типа геосистемы встречаются преимущественно на выровненных поверхностях и склонах останцов гор. Они представлены чаще всего в долинах рек и имеют, как правило, в своем составе сосну и часто формируют сосновые боры на песках. Южнотаежные темнохвойные среднесибирского типа геосистемы распространены на возвышенностях или равнинах.

Прихубсугулье, северо-восточный Хангай и Хэнтэй являются местами распространения лиственничных горно-таежных природных комплексов южносибирского типа разных экологических условий развития. Наряду с этим, на территории, принадлежащей Южно-Сибирской ландшафтной области, распространены пихтово-кедровые и кедрово-пихтовые геосистемы, благодаря особенно великому (особенно в западных и центральных провинциях) влиянию атлантических воздушных течений. Например, темнохвойно-таежные южносибирские геосистемы разных условий развития распространены на территории Прибайкалья, Забайкалья и Лено-Ангарского плато. Они встречаются в средней части склонов Хэнтэй, потому что здесь еще сказывается влияние западных воздушных масс и тихоокеанского муссона. Здесь очень частыми являются кустарничково-зеленомошные кедрово-пихтовые и кедрово-лиственничные с баданом южносибирские горно-таежные геосистемы. Из-за значительного влияния влажных воздушных масс на макросклонах горных хребтов Хамар-Дабана распространены темнохвойно-таежные геосистемы оптимального развития южносибирского типа. Они характеризуются наличием пихтовых, елово-пихтовых, кедрово-пихтовых лесов. Среди них имеются представители неморального типа.

В горах Хангая и Прихубсугулья, ниже пояса подгольцовых лиственнично-редколесных геосистем, в условиях резко континентального климата развиваются «псевдотаежные» геосистемы [7]. Они существуют здесь, благодаря меньшей континентальности климата, связанной с абсолютной высотой; значительному количеству осадков, обусловленных местной спецификой расположения хребтов Хангая и ослабленным воздействием тихоокеанского муссона; летнему оттаиванию многолетнемерзлых грунтов, повышающих увлажнение природных комплексов в теплое время; большим в сравнении с Прихубсугульем и Хэнтэем влиянием Центрально-Азиатских пустынь. После пожаров или сплошных рубок эти геосистемы, как правило, плохо восстанавливаются и чаще всего заменяются степными комплексами.

На территории Прибайкалья и северного Забайкалья широко распространены светлохвойные горно-таежные геосистемы байкало-джугджурского типа ограниченного, оптимального и редуцированного развития. В местах залегания многолетнемерзлых грунтов они представлены и в го-

рах Хэнтэя. Таежные лиственничные, преимущественно с ерниковым подлеском, природные комплексы распространены, как правило, в долинных участках рек и на территориях плоских межгорных понижений. Сформировавшиеся в Восточное Забайкалье местные экологические условия обеспечили распространение природных комплексов амуро-сахалинского типа.

На исследуемой территории широкое распространение получили подгорные подтаежные южносибирские темнохвойные и байкало-дзугджурские лиственничные кустарниковые, травяные и травяные остепненные природные комплексы. Горные подтаежные геосистемы южносибирского типа имеют преимущественное распространение в районах Прихубсугулья, на склонах гор Хэнтэя и восточного Хангая; в котловинных и долинных местоположениях, где распространены боровые пески, широко представленные сосновыми ксерофитно-разнотравными природными комплексами южносибирского типа (переходные к центральноазиатскому типу).

Природные лугово-степные и степные комплексы нашли свое широкое распространение в районах Южно-Сибирской физико-географической области. Сформировавшиеся на подгорных равнинах и долинах крупных рек, они распространены преимущественно среди подтаежных светлохвойных массивов и имеют высокую продуктивность. Это, например, приангарские и приленские (близ п. Качуг) равнинные степи, которые представляют собой элемент подгорного ландшафта. На территории Северной Монголии подобные природные комплексы представлены в Прихубсугулье, в долинах рек – притоков р. Селенги, на северо-восточном и восточном побережье оз. Хубсугул, на склонах долины р. Эгийн-Гол, р. Хухэ-Гол и пр. Они отмечены преимущественно среди лиственничных лесов лугово-кустарниково-лесных серий аллювиальных равнин.

Центрально-Азиатские (Дауро-Монгольские) полупустынно-степные геосистемы подразделены на классы геомов: горный и высоких равнин и денудационных плато (см. рисунок и таблицу). Разнообразие природных условий и, прежде всего, условий увлажнения степных геосистем характеризует подклассы геомов. Здесь представлены западнобайкальские даурского типа, северомонгольские хангайского типа, среднехалхаско-восточно-монгольские гемикриофильные с различными вариантами фитоценотической структуры (разнотрав-

но-дерновиннозлаковые, дерновиннозлаковые, галофитно-луговые, лугово-солончаковые и т.д.) комплексы.

Западнобайкальские горно-степные геосистемы даурского типа распространены в пределах провинций Южно-Сибирской физико-географической области: Оннон-Хэнтэйской котловинно-горнотаежной остепненной, Хилокско-Чикойской горнотаежно-котловинной остепненной и Селенгинско-Орхонской котловинно-среднегорной остепненной. Они сформировались в особых экологических условиях, отличающихся выраженной цикличностью климата и увлажненности местоположений геосистем. Для них характерна повторяемость влажных и засушливых периодов продолжительностью около 15 лет. В сухие периоды численность многих видов растений степей падает до очень низкого уровня, поэтому возможно нарушение почвенного и растительного покрова на значительных площадях в процессе их хозяйственного использования или в результате часто повторяющихся пожаров.

Степные геосистемы были подразделены на подгорные, межгорных понижений и днищ котловин; долинные, в соответствии со своим местоположением. На протяжении от долин и котловин к предгорьям степные геосистемы сменяются, как правило, от более аридных вариантов на днищах к сравнительно гумидным на склонах. На наиболее сухих и континентальных склонах гор степи иногда поднимаются до высокогорий. По направлению к югу и к востоку ксерофитизация геосистем также возрастает и уменьшается количество разнотравья. Для котловин типичны мерзлотные степные геосистемы. Особое влияние на их формирование оказывают низкие зимние температуры, способствующие глубокому промерзанию грунтов.

В составе дауро-монгольских геосистем были выделены горные северомонгольские геосистемы хангайского типа [4], которые сформировались, благодаря особой специфике местного климата хребтов Хангая. Зимние северо-западные ветры, дующие от центра азиатского антициклона по его восточной периферии, ослабляют свое иссушающее и выхолаживающее влияние, а восточные летние ветры с Тихого океана увлажняют Хангай и умеряют летние температуры. Поэтому амплитуда годовых температур оказывается здесь несколько ниже. В этой связи в нижних частях северных и восточных склонов Хангая и прилегающих подгорных равнин широко распростра-

нены богаторазнотравно-дерновиннозлаковые, разнотравно-дерновиннозлаковые и дерновинноразнотравные геосистемы. В подгольцово-высокогорно-луговом поясе, на вершинных и привершинных склоновых поверхностях характерны мелкозлаково-кобрезиевые их варианты.

Среднехалхаско-Монгольские геосистемы выделены в пределах группы провинций Среднехалхаско-Монгольской и Восточно-Монгольской (с Онон-Аргунской провинцией на территории России) [10]. Они сформировались, благодаря сочетанию эколого-климатических и орографических факторов. Большое значение имеет мерзлота спорадического распространения, благодаря ее способности аккумулировать влагу и отдавать ее постепенно по мере сезонного оттаивания. Такая дополнительная влагообеспеченность имеет существенное значение в недостаточно влажных и сухих местоположениях. На глубокопромерзающих черноземных или темно-каштановых почвах в условиях теплых местоположений Восточной Монголии формируются гемикриофильные (полухолодные) степные геосистемы, которые имеют средние показатели продуктивности. Они представлены на высоких равнинных поверхностях и пологих склонах травяно-степными пижмовыми, пижмово-разнотравными, разнотравно-тырсовыми, караганово-тырсовыми вариантами. В низинах распространены лугово-тальниково-тополевые остепенно-луговые геосистемы.

На юге Средне-Халхаской возвышенности наблюдается обширная полоса сухих степей на темно-каштановых или каштановых почвах. Отмечается преобладание преимущественно тырсовых крупнодерновинных ковыльных группировок, также часто с участием караганы, особенно на щебнистых поверхностях и склонах или на не подвергшихся дефляции песках и легких супесях. Степные дерновиннозлаковые геосистемы являются наиболее устойчивыми по сравнению с другими вариантами степей, благодаря их относительно высокой продуктивности и свойствам дернины создавать экологические условия. В низинах бессточных депрессий и побережий озер распространены опустыненные варианты степей со светло-каштановыми почвами и малым годовым количеством осадков.

Созданная карта «Ландшафтно-экологическая среда бассейна озера Байкал» позволяет ставить и решать как чисто природные и природоохранные, так и более

общие вопросы теоретического и прикладного порядка. Разработанная на принципах геосистемного геоэкологического картографирования, она позволяет перейти от многостороннего анализа природной среды к прогнозу ее возможного изменения.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ № 16-05-00902.

Список литературы

1. Сочава В.Б. Теоретическая и прикладная география. Избранные труды / В.Б. Сочава. – Новосибирск: Наука, 2005. – 288 с.
2. Экологическое картографирование Сибири / ред. В.В. Воробьев, А.Р. Батуев и др. – Новосибирск: Наука Сибирская издательская фирма РАН, 1996. – 279 с.
3. Кузнецова Т.И., Батуев А.Р., Бардаш А.В. Карта «Природные ландшафты Байкальского региона и их использование»: назначение, структура, содержание // Геодезия и картография. – 2009. – № 9. – С. 18–28.
4. Батуев А.Р., Лопаткин Д.А. Обоснование и картографирование территориальной структуры экологического каркаса региона / А.Р. Батуев // Известия Иркутского университета. Серия: Науки о Земле. 2008. – Т. 1, № 1. – С. 56–75.
5. Монгольская Народная Республика. Национальный атлас – Улан-Батор – Москва, Изд-во: ГУГК СССР, 1990. – 144 с.
6. Михеев В.С. Ландшафтно-географическое обеспечение комплексных проблем Сибири. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1987. – 205 с.
7. Очерки физической географии Монголии. – Улан-Батор: Бэмби сан, 2006. – 550 с.
8. Коновалова Т.И. Самоорганизация геосистем юга Средней Сибири / Т.И. Коновалова. – Новосибирск: Акад. Изд-во «ГЕО», 2012. – 148 с.
9. Экологический атлас бассейна оз. Байкал / ред. А.К. Тулохонов, В.М. Плюснин, С.В. Куделя. – Иркутск: изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. – 145 с.
10. Камелин Р.В. Монголия на карте ботанико-географического районирования Палеарктики / Р.В. Камелин // Turczaninowia. – 2010. – № 13(3). – С. 5–11.

References

1. Sochava V.B. Teoreticheskaja i prikladnaja geografija. Izbrannye trudy / V.B. Sochava. Novosibirsk: Nauka, 2005. 288 p.
2. Jekologicheskoe kartografirovanie Sibiri / red. V.V. Vorobev, A.R. Batuev i dr. Novosibirsk: Nauka Sibirskaja izdatel'skaja firma RAN, 1996. 279 p.
3. Kuznecova T.I., Batuev A.R., Bardash A.V. Karta «Prirodnye landshafty Bajkalskogo regiona i ih ispolzovanie»: naznachenie, struktura, sodержanie // Geodezija i kartografija. 2009. no. 9. pp. 18–28.
4. Batuev A.R., Lopatkin D.A. Obosnovanie i kartografirovanie territorialnoj struktury jekologicheskogo karkasa regiona / A.R. Batuev // Izvestija Irkutskogo universiteta. Serija: Nauki o Zemle. 2008. T. 1, no. 1. pp. 56–75.
5. Mongolskaja Narodnaja Respublika. Nacionalnyj atlas Ulan-Bator–Moskva, Izd-vo: GUGK SSSR, 1990. 144 p.
6. Miheev V.S. Landshaftno-geograficheskoe obespechenie kompleksnyh problem Sibiri. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 1987. 205 p.
7. Oчерki fizicheskoy geografii Mongolii. Ulan-Bator: Bjembi san, 2006. 550 p.
8. Konovalova T.I. Samoorganizacija geosistem juga Srednej Sibiri / T.I. Konovalova. Novosibirsk: Akad. Izd-vo «GEO», 2012. 148 p.
9. Jekologicheskij atlas bassejna oz. Bajkal / red. A.K. Tulohonov, V.M. Pljusnin, S.V. Kudelja. Irkutsk: izd-vo Instituta geografii im. V.B. Sochavy SO RAN, 2015. 145 p.
10. Kamelin R.V. Mongolija na karte botaniko-geograficheskogo rajonirovanija Palearktiki / R.V. Kamelin // Turczaninowia. 2010. no. 13(3). pp. 5–11.

УДК 911.2

ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ НАЧАЛО В ГИДРОЛОГИИ И МЕЛИОРАЦИИ**Напрасников А.Т.***Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, e-mail: r.kodar@mail.ru*

Ввиду отсутствия географической концепции гидрологического процесса и недоучета в хозяйственной деятельности основ сотворчества человека с природой обоснованы географо-гидрологические (теоретические и методические) подходы к изучению формирования режимов водного и энергетического балансов. Методический аспект определен последовательным обоснованием пространственных изменений тепла и влаги в приземной атмосфере и почвах, теоретический – в разработке методов оценки их режимной и структурной организации. В методе гидролого-климатических расчетов единство водного и энергетического баланса выражено параметром n . Выявлена его корреляция с планетарно-космическим коэффициентом увлажнения и почвенно-ландшафтным коэффициентом полной соразмерности влаги и тепла – отношением испарения с увлажненной поверхности к предельному испарению. Показана планетарная динамика стока. Корреляция стока с параметрами внешней среды в пределах любого ландшафта может быть функцией стока других систем. Высказано положение о стабилизирующих гидрологических функциях ландшафтов и почв. В условиях активного притока избыточных вод почвы освобождаются от них интенсивным стоком, а избыток тепла уходит в атмосферу конвективным потоком.

Ключевые слова: функции географии, гидрологические системы, водные и тепловые ресурсы, траектории развития стока, нормы орошения и осушения

THE GEOGRAPHICAL PRINCIPLE IN HYDROLOGY AND MELIORATION**Naprasnikov A.T.***V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: r.kodar@mail.ru*

For lack of the geographical concept of the hydrological process and inadequate consideration for the bases of joint creativity of Man and Nature in economic activity, the geographical-hydrological (theoretical and methodological) approaches to studying the formation of the water and energy balances have been substantiated. The methodological dimension was determined by a consistent substantiation of spatial changes in heat and moisture in the surface layer of the atmosphere and in soils, and the theoretical dimension was justified by developing methods for assessing their regime and structural organization. In the method of hydrological-climatic calculations, the unity of the water and energy balance is expressed by the parameter n . The study revealed its correlation with the global-space humidity factor and the soil-landscape factor of full proportionality of moisture and heat, i.e. the ratio of evaporation from a humid surface to marginal evaporation. The global runoff dynamics is demonstrated. A correlation of the runoff with environmental parameters within any landscape can be a function of the runoff of other systems. It is suggested that landscapes and soils have stabilizing hydrological functions. In conditions of an active input of extra waters, the soil rids itself from them through an intense runoff, and excess heat is transported to the atmosphere by the convection flow.

Keywords: functions of geography, hydrological systems, water and thermal resources, runoff development paths, irrigation and drainage rates

География является ассоциацией естественных наук. Этим обосновывается в них единое географическое начало. Утверждается определяющая роль географии в теории и практике гидрологических знаний, в хозяйственной деятельности человечества – мелиорации.

В настоящее время единство водного и энергетического балансов определяется связывающим их параметром n с диапазоном 2–3. Однако его значения для крупных природных систем, континентов, океанов и в целом для планеты Земля иные. Подобная неопределенность не обеспечивает решение ряда теоретических и практических проблем в географии, гидрологии и мелиорации почв.

В этой связи основной целью работы явилось обоснование методов географического единства в водном и энергетическом балансах природных и хозяйственных систем.

Проблемы решались на базе метода гидролого-климатических расчетов, на знаниях географии и гидрологии последних ста лет. Эти достижения изложены в многочисленных работах отечественных и зарубежных ученых [1–7].

С целью совершенствования гидрологических методов использовались масштабные исследования 90 бассейнов притоков Амура [8], которые дополнились многолетними данными почвенной влаги. Базовой информацией послужили измерения региональных агрономических станций Сибири и Дальнего Востока и обобщенный труд Дальневосточного научно-исследовательского института [9]. В нем систематизированы обширные материалы наблюдений над влажностью почв в Якутии, Бурятии, Забайкальском, Хабаровском и Приморском краях.

**Планетарное единство
гидрологического процесса**

Развитие природных систем координируется физико-географическим процессом в пространстве и времени. География – одна из немногих научных дисциплин, которая изучает пространственно-временные изменения, ведущие эволюцию биосферы. Естественная общность множественных структур и режимов связывает прошлое и настоящее развитие. В современный век научно-технического прогресса данная общность раскрыта еще не полностью. Однако в теории и практике географических исследований уже имеются достижения, посредством которых решаются актуальные проблемы гидрологии.

Известно, что гидрологический процесс – это круговорот влаги и тепла в природных средах, который является неотъемлемой частью физико-географического процесса. Под географической общностью понимается единое пространственное изменение характеристик в природной среде. Географическая общность тепла и влаги реализуется через единство водного и энергетического балансов. В современном географо-гидрологическом анализе единство представлено уравнением испарения:

$$E = E_m [1 + (E_m/X)^n]^{-1/n} \quad (1)$$

Определяющая роль принадлежит параметру n , связывающему водные и энергетические балансы. Это универсальный географо-гидрологический функционал. Уравнение представлено атмосферными осадками (X) и предельным ресурсом испарения (E_m) – водным эквивалентом радиационного баланса.

В современной практике гидрологических расчетов параметр n применяется в пределах 2–3 единиц. Однако этот диапазон не обеспечивает расчет испарения с экстратумидных и экстрааридных ландшафтов, с континентов и Мирового океана.

Решение задачи осуществлялось планетарным обоснованием параметра n практически для всех ландшафтов Земли. Выявлены корреляции параметра n с коэффициентами атмосферного увлажнения и с дефицитами или избытками атмосферных ресурсов. Такими являются корреляции (2), (3) и графики А и Б (рис. 1):

$$n = 11,62 (E_0/E_m) - 6,22, \quad (2)$$

$$n = -1,54X/E_m + 4,4. \quad (3)$$

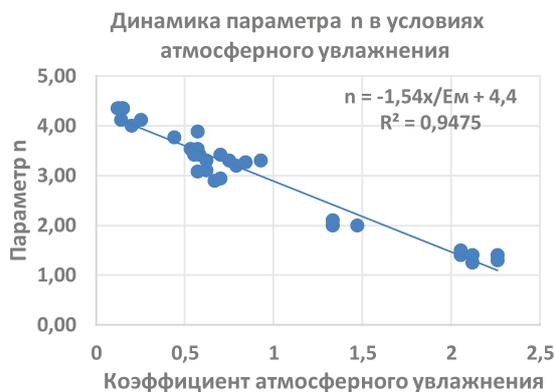
Поиск предельных и оптимальных энергетических ресурсов

Энергетические ресурсы – это радиационный баланс. Он представлен водным эквивалентом – предельным планетарно-космическим испарением (E_m) и испаряемостью (E_0) с увлажненной поверхности. Их измерения немногочисленные и определяются через суммы температур выше 10 °С. Имеются убедительные обоснования подобных связей [1, 2–5, 7].

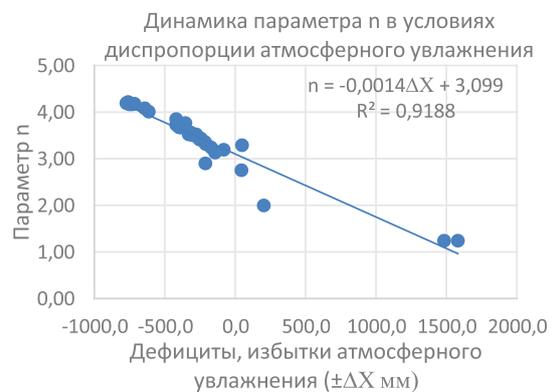
$$E_m = 0,164 \Sigma T \geq 10^\circ C T + 468, \quad (4)$$

$$E_m = 0,2 \Sigma T \geq 10^\circ C T + 306, \quad (5)$$

$$E_0 = 0,168 \Sigma T \geq 10^\circ C T + 311. \quad (6)$$



А



Б

Рис. 1. Общность параметра n с режимами и ресурсами приземной атмосферы

В практике гидрологических расчетов эти уравнения не всегда применимы (отсутствие данных по суммам температур). В этой связи был осуществлен поиск связей энергетических ресурсов с другими независимыми источниками. На юге Восточной Сибири и Дальнего Востока выявлена региональная корреляция с атмосферными осадками и коэффициентами увлажнения:

$$E_m = 321X/E_m + 586, \quad (7)$$

$$E_m = 0,35X + 612. \quad (8)$$

Осуществлен анализ расчетов предельного и оптимального испарения. В пределах юга Восточной Сибири и Дальнего Востока приведены средние арифметические значения всей выборки. В скобках указаны стандартные отклонения. По уравнению (4) среднее значение E_m составило 785(60) мм, по уравнению (6) – 784(48) мм, по уравнению (7) – 780(54) мм.

E_m , определенное по уравнению В.С. Мезенцева [5], для всей выборки равно 690 (73) мм. По данным станций Сибири и Арктики E_m , среднее арифметическое всей выборки составило 674(70) мм. E_o , определенное по корреляции (6), равно 636(80).

Первые три цифры E_m : 785(60), 784(48) и 780(54) близки к месячным суммам предельного, радиационного испарения за годовой период [6]. Последующие значения отражают испаряемость (E_o) с достаточно увлажненной поверхности: 690(73), 674(70), 636(80). По корреляции В.С. Мезенцева [5], соответствующее значение E_m равно 690(73) и находится между предельным и оптимальным испарением. Эти значения близки к радиационному испарению, определенному для Сибири – 674(70). Подобные различия и общность объясняются тем, что вышеприведенные корреляции получены метеорологическим методом, с учетом только летнего положительного, остаточного баланса. Следует подчеркнуть, что корреляция радиационного испарения с температурами определялась по станциям России, которые преобладающе находятся в зоне избыточного увлажнения, то есть отражают испаряемость. Видимо, корреляция В.С. Мезенцева в большей мере характеризует оптимальное испарение с увлажненной поверхности.

Сложно осуществлять гидрологические расчеты, когда отсутствуют данные по ряду составляющих баланса. В нашем случае представилась уникальная возможность использовать данные по атмосферным осад-

кам на весь бассейн из гидрологического справочника [9]. Однако данные по предельному испарению отсутствуют.

В целях определения E_m на речные бассейны применили метод итерации. Для каждой градации в 50 мм максимального испарения (350–950 мм), при известных осадках рассчитали испарение. Это позволяет интервал, в котором рассчитанное испарение совпадает со справочным, принять за предельное испарение всего бассейна. В дальнейшем выявлена корреляция рассчитанного руслового стока с атмосферным увлажнением и параметрами дефицита, избытка атмосферного увлажнения (графики рис. 3).

Фазы гидрологического процесса

Формирование начала стока. Географическое движение составляющих процесса выражено связью стока с режимом среды и ресурсом, обеспечивающих его развитие. Это планетарно-космические и почвенно-ландшафтные факторы, формирующие гидрологические системы, их фазы и структуры.

Гидрологический процесс начинается с отклонения от определенной точки, с проявлением градиентных свойств пространств: широтных, долготных и высотных. Без них немислима термодинамика любого ландшафта. При включении в анализ градиентных субстанций проявляются пространственные сходства и различия. Подобными примерами могут быть интервалы траекторий стока на графиках рис. 2. Это интервалы начала формирования стока, последующего роста, достижения максимума и затухания.

Увеличение влаги над тепловым ресурсом обеспечивает последовательную трансформацию водных режимов, преобразование гидрологических циклов. Это закономерное явление, которое подтверждается концепцией – природные системы не мыслятся без энергетического ресурса и необходимого условия развития – воды.

Подобные состояния имеют место в субарктике. В ней большую часть года вода находится в твердом состоянии, сток эпизодический. Вода концентрируется в небольших понижениях и озерах. Ярко выражено начало развития процесса, его быстрое завершение. Фактически при остром недостатке тепла различия в увлажнении отступают на второй план. Последующие стадии не формируются, а замещаются атмосферным водно-энергетическим обменом.

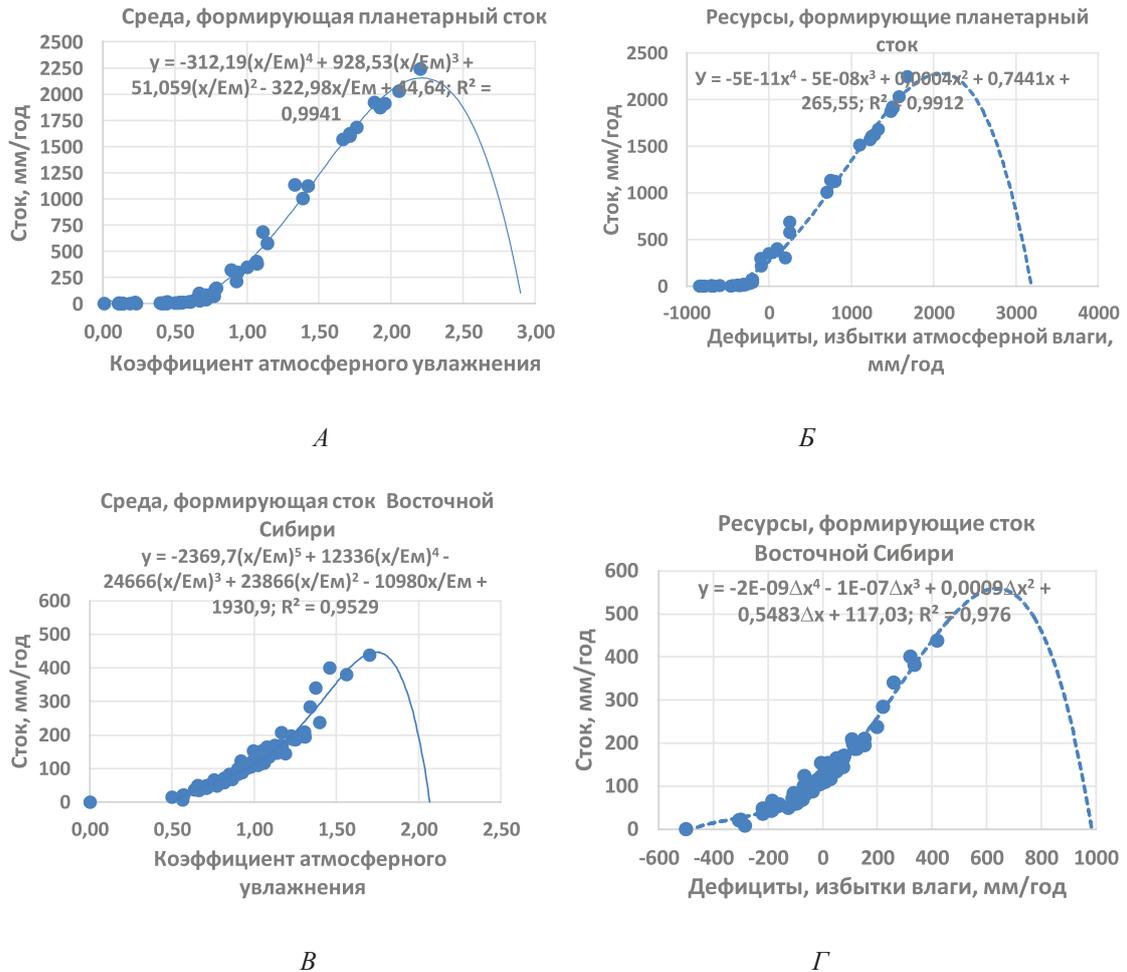


Рис. 2. Динамика траекторий речного стока

Фазы последующего развития стока. Планетарный сток, обусловленный атмосферным увлажнением, начинается с нулевых значений коэффициента увлажнения, достигает максимума при 2,25, завершается при 2,95. На юге Восточной Сибири и Дальнего Востока диапазон процесса несколько уже: начинается также с нулевых величин коэффициента увлажнения, максимум проявляется при 1,75, завершается при 2,15.

Планетарный сток, обусловленный ресурсами дефицитов, избытков увлажнения начинается с дефицита минус 1000 мм, максимум формируется уже при избытке влаги – 2200 мм, затухает при предельном избытке водного ресурса – 3200 мм. На юге Восточной Сибири диапазон дефицитов и избытков влаги существенно меньше. Сток начинается с минус 500 мм, достигает максимума при избытке влаги в 650 мм и полностью прекращается при 900 мм.

В локальных местоположениях сток увеличивается до максимума, при коэффициенте увлажнения несколько превышающем единицу – формируется в диапазоне атмосферного и почвенного увлажнения 1,0–1,35. Дефициты и (или) избытки влаги являются практически нулевыми.

Во всех случаях проявляются три фазы развития: нулевая, максимальная и завершающая. Начальная стадия является тепловой с нулевым или крайне минимальным стоком. Ей соответствует коэффициент планетарно-космического увлажнения ниже 0,25–0,5. Параметр *n*, связывающий водный и энергетические балансы, имеет значение больше 3.

Предельное развитие стока. Элементы гидрологического процесса в своем развитии завершаются на вершине соотношения тепла и влаги. Данный предел характеризуется неравновесным состоянием

ем в непрерывных средах. Представлен он коэффициентами планетарно-космического увлажнения, ресурсами дефицитов и (или) избытков влаги. Отклонения от гидрологического предела указывают на возможные направления развития гидрологического процесса. Система достигает максимального развития и вместе с этим начинает деградировать. Преобразование руслового стока в сплошной наземный отмечается при полной влагоемкости почв и при параметре n , равном 2,3. При его меньших значениях и коэффициенте увлажнения 2,25 русловой сток преобразуется в неограниченное движение водных масс, подобное перемещению озерных, морских и океанических вод. Это водная заключительная фаза преобразования стока суши в движение вод озер, морей и океанов.

Сток в завершающей фазе развития. Все элементы гидрологического процесса информационно располагаются в пределах тренда от нулевых до максимальных значений. За максимальным пределом прослеживается инертное, но мгновенное преобразование динамики массивных вод в иные фазовые и структурные состояния. В этих условиях завершающий процесс обеспечивает формирование единых свойств всех частей гидрологической системы. На планете Земля близки к такому состоянию ледники и океанические глубинные придонные водные массы с отрицательными температурами.

Предел развития гидрологического процесса – защитная функция ландшафта. Динамика гидрологического процесса многофазовая, о чем свидетельствует изменение стока на юге Восточной Сибири и Дальнего Востока, а также в пределах планеты Земля. Начинается сток с минимального количества воды при любом положительном радиационном балансе. Это соответствует максимальной диспропорции между теплом и влагой. Последующий рост осадков уменьшает диспропорцию, увеличивает стоковую составляющую. На вершине гидрологического процесса при максимальных осадках и радиационном испарении сток предельный. Он формируется в практически закрытой природной среде, как бы в нулевом термодинамическом состоянии с максимальной энтропией.

Последующее увлажнение отрицательно влияет на жизнедеятельность ландшафтов. Этот факт обусловил формирование в нем защитных реакций. Ландшафты суши начинают естественно избавляться от лишних атмосферных осадков. С ростом из-

бытков влаги интенсивно увеличивается сток. На планетарном уровне дефициты влаги $-500 \approx -1000$ мм формируют сток в пределах нулевых величин. При нулевых значениях дефицитов или избытков сток увеличивается до 250 мм в год, при избытке влаги в 500 мм сток достигает 700 мм, при избытке влаги в 1000 мм сток увеличивается до 1300 мм. В пределах 1500 мм – избытки влаги и сток равны, а при избытке влаги в 2000 мм сток его превышает, достигает 2200 мм/год.

Таким образом, на суше при достижении максимальных соотношений тепла и влаги географические системы начинают освобождаться от избытка влаги стоком в многочисленные водоемы, а от избытка тепла – конвективными потоками в атмосферу. Данные состояния фиксируют процесс самосохранения и саморазвития природных систем. Дефициты и (или) избытки тепла и влаги (отклонения количества влаги от предельного испарения) являются природными потенциалами, обеспечивающими вектор развития всего гидрологического процесса.

Функции географии и гидрологии

Функция географии, раскрывает единство природных систем, объединенных физико-географическим процессом. Функция гидрологии обосновывает их единый водно-энергетический обмен. С помощью функций выражаются многочисленные связи между составляющими географических систем. В работе все уровни (локальный, региональный, планетарный) обеспечены данными метеорологических станций, то есть единым, информационным типом. Это типовое единство определяет единое функциональное свойство природных систем. Функции стока рек являются механизмом, обеспечивающим переход от стока одной системы к другой. Примерами являются графики рис. 3.

Графики рис. 2 и 3 наглядно демонстрируют, что вся информация о стоке располагается в диапазоне тренда нулевых – максимальных значений. За максимальным пределом как бы нет реальных данных. Но и эта часть тренда не исключение, отражает не зазеркальную, а реальную трансформацию стоковых вод в иные режимы и структуры.

Ход гидрологического процесса разделяется на две части: с реальной и прогнозной информацией. Вторая часть отражает завершающий этап гидрологического процесса, его прогнозные функции.

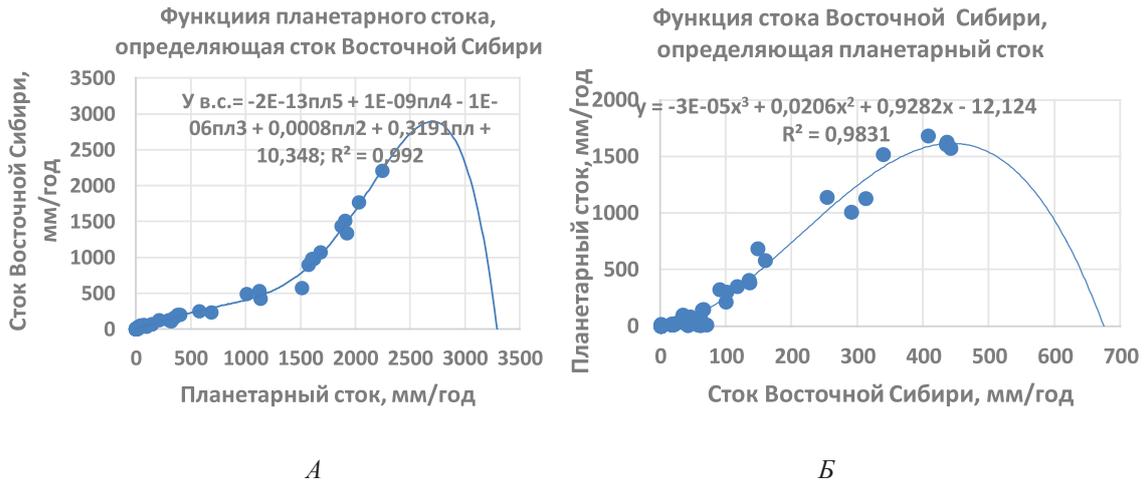


Рис. 3. Примеры ландшафтных функций стока рек

Отсутствие стока можно проследить в условиях аккумуляции влаги в ледниках или в условиях полного испарения влаги с земной поверхности в пустынях.

Оптимум гидрологического процесса и мелиорация

В географии обоснована эволюционная концепция развития природных систем. Это оптимум физико-географического процесса. Его сущность в следующем. При эквивалентном равенстве ресурсов тепла и влаги ($X = E_m$ или $X/E_m = 1$) прослеживается их оптимальная (максимальная) соразмерность. Такими являются максимальные величины стока, испарения и максимальная биологическая продуктивность растений. Отклонения от этих пределов, фактически от оптимальных ресурсов тепла и влаги, обеспечивают формирование зональных ландшафтов: от арктических до экваториальных – систему поясов от влажных до аридных, от холодных до жарких, экосистемы от пустынных малопродуктивных до экваториальных высокопродуктивных. Последние характеризуются большим количеством тепла с достаточным количеством влаги. Если испаряются не все атмосферные осадки – формируется избыточное увлажнение, необходимо осушение. При недостатке влаги – следует орошать сельскохозяйственные земли. В климатологии они определяются разностью атмосферных осадков и предельного испарения ($\pm\Delta X = X - E_m$). В почвоведении определяются разностью между фактической влагой в почве и ее наименьшей вла-

гоемкости ($\pm\Delta W = (W_f - W_{нв})$). Эти дефициты и (или) избытки влаги несут функции оптимизации почвенного увлажнения и в то же время являются оптимизирующим ресурсом мелиоративной деятельности. Эколого-гидрологический режим почв, как основного объекта мелиорации, раскрыт в работе Ф.Р. Зайделямана [10].

Между планетарно-космическими ($\div\Delta X$) и ландшафтно-почвенными ($\div\Delta W$) оптимизирующими ресурсами прослеживается корреляционное соответствие:

$$\Delta W = 0,16\Delta X + 9, \tag{9}$$

$$W_f/W_{нв} = 0,67X/E_m + 0,36, \tag{10}$$

$$\Delta X = 690X/E_m - 720. \tag{11}$$

Заключение

Раскрыто географическое начало в гидрологии и мелиорации. Обосновано географическое единство водного и энергетического балансов. Параметр n , объединяющий элементы гидрологического процесса, выражен через планетарно-космический коэффициент увлажнения географических систем. Модифицированный метод гидролого-климатических расчетов позволил определять составляющие балансов для всех географических систем от локальных природных систем до континентов суши и Мирового океана.

Выявлена динамика стоков: начальная, развивающаяся, максимальная, завершающая и преобразующая. Стоковый процесс формируется тепловым ресурсом и дополнительным количеством воды. Завершает

процесс обильный водный ресурс, который снижает его интенсивность, преобразует наземный поток в озерный, морской, океанический или ледниковый.

В аридных ландшафтах с минимальным или нулевым стоком параметр n равен 3–4, в гумидных он меньше 2. Гидрологический процесс завершается при параметре n , равном единице. Большие значения n характерны для аридных и океанических ландшафтов. В обоих случаях это крайне дефицитная сфера – приток атмосферных осадков меньше предельного испарения. Деятельный слой почвогрунтов регулируется планетарно-космическим тепло-влажностным обменом. В условиях активного притока избыточных вод ландшафт избавляется от них интенсивным стоком, а избыток тепла отправляется в атмосферу усиленным конвективным потоком. Выявлены стабилизирующие гидрологические функции ландшафтов и почв. Функция географии раскрывает единство природных систем, объединенных физико-географическим процессом. Функция гидрологии обосновывает их единый водно-энергетический обмен. С помощью функций выражаются многочисленные связи между составляющими географических систем. В мелиорации эквивалентное равенство тепла и влаги является точкой отсчета мелиоративных норм орошения и осушения. Оба способа мелиорации корреляционно преобразовываются, являются функцией влаги и тепла приземной атмосферы и почвогрунтов.

Географический поиск мелиоративной оптимизации земель в России осуществлялся и прежде. Были выделены зоны хозяйственного оптимума увлажнения земель. В настоящее время отечественными учеными России возрождаются и разрабатываются новые способы рационализации локального и регионального природопользования. Они обоснованы междисциплинарными концептуальными подходами географии, гидрологии и мелиорации.

Список литературы

1. Бudyko M.I. Испарение в естественных условиях / М.И. Бudyko. – Л.: Гидрометеоздат, 1948. – 136 с.
2. Григорьев А.А. Закономерности строения и развития географической среды / А.А. Григорьев // Избранные теоретические работы. – М., 1966. – 382 с.
3. Добролюбов С.А. Россия в международных программах исследования мирового океана / С.А. Добролюбов, Д.Я. Фашук // Рациональное природопользование: международные программы, российский и зарубежный опыт. – М.: Тов-во научн. изд. КМК, 2010. – С. 182–202.
4. Возобновляемые ресурсы тепловлагообеспеченности Западно-Сибирской равнины и динамика их характеристик / И.В. Карнацевич, О.В. Мезенцева, Ж.А. Тусупбеков, Г.Г. Бикбулатова. – Омск: Издательство ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2007. – 268 с.
5. Мезенцев В.С. Метод гидролого-климатических расчетов и опыт его применения для районирования Западно-Сибирской равнины по признакам увлажнения и теплообеспеченности. В.С. Мезенцев / Тр. О–СХИ. – Омск: ОмСХИ, 1957. – Т. 27. – 121 с.
6. Напрасников А.Т. Континентальные и океанические геосистемы: географо-гидрологическое единство и различие / А.Т. Напрасников // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 1. – С. 64–71.
7. Stone E.L. Evaporation in Nature // Journal of Forestry. – 1952. – V. 39. – № 10.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Том 18. – Дальний Восток. – Выпуск 1. – Верхний и Средний Амур. – Л.: Гидрометеоздат, 1966. – 773 с.
9. Средние многолетние и вероятностные характеристики запасов продуктивной влаги под озимыми и ранними яровыми зерновыми культурами. – ДВНИИ, 1980. – Т. 3. – 96 с.
10. Зайдельман Ф.Р. Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов. – М.: КДУ, 2009. – 720 с.

References

1. Budyko M.I. Isparenie v estestvennyh uslovijah / M.I. Budyko. L.: Gidrometeoizdat, 1948. 136 p.
2. Grigorev A.A. Zakonomernosti stroenija i razvitija geograficheskoj sredy / A.A. Grigorev // Izbrannye teoreticheskie raboty. M., 1966. 382 p.
3. Dobroljubov S.A. Rossija v mezhdunarodnyh programmah issledovanija mirovogo okeana / S.A. Dobroljubov, D.Ja. Fashuk // Racionalnoe prirodopolzovanie: mezhdunarodnye programmy, rossijskij i zarubezhnyj opyt. M.: Tov-vo nauchn. izd. KMK, 2010. pp. 182–202.
4. Vozobnovljaemye resursy teplovлагоobespechennosti Zapadno-Sibirskoj ravniny i dinamika ih harakteristik / I.V. Karnacevich, O.V. Mezenceva, Zh.A. Tusupbekov, G.G. Bikbulatova. Omsk: Izdatelstvo FGOU VPO OmGAU, 2007. 268 p.
5. Mezenцев V.S. Metod gidrologo-klimaticheskijh raschetov i opyt ego primenenija dlja rajonirovanija Zapadno-Sibirskoj ravniny po priznakam uvlazhnenija i teploobespechennosti. V.S. Mezenцев / Tr. O–SHI. Omsk: OmSHI, 1957. T. 27. 121 p.
6. Naprasnikov A.T. Kontinentalnye i okeanicheskie geosistemy: geografo-gidrologicheskoe edinstvo i razlichie / A.T. Naprasnikov // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. 2017. no. 1. pp. 64–71.
7. Stone E.L. Evaporation in Nature // Journal of Forestry. 1952. V. 39. no. 10.
8. Resursy poverhnostnyh vod SSSR. Tom 18. Dalnij Vostok. Vypusk 1. Verhnij i Srednij Amur. L.: Gidrometeoizdat, 1966. 773 p.
9. Srednie mnogoletnie i verojatnostnye harakteristiki zapasov produktivnoj vlagi pod ozimymi i rannimi jarovymi zernovymi kulturami. DVNII, 1980. T. 3. 96 p.
10. Zajdelman F.R. Genезis i jekologicheskie osnovy melioracii pochv i landshaftov. M.: KDU, 2009. 720 p.

УДК 550.4:574.2:581.5

БИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РАЙОНЕ ОЛОВОДОБЫЧИ (НА ПРИМЕРЕ ХИНГАНСКОГО ГОКА)**Новороцкая А.Г., Ионкин К.В.***Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, e-mail: novag59@mail.ru, ionkin.1983@mail.ru*

В работе дано обоснование применения биологических методов: биоиндикации и биотестирования с целью установления степени загрязнения окружающей среды в зоне влияния отходов оловорудного производства на примере хвостохранилища Хинганского ГОКа (ЕАО). Исследованы возможности использования многолетних растений в качестве палинологических индикаторов: клевера красного (лугового) (*Trifolium pratense* L.), лютика полевого (*Ranunculus arvensis*), гравилата прямого (*Geum aleppicum*) и рябинника рябинолистного (*Sorbaria sorbifolia*) в биологическом мониторинге. Приведены данные по стерильности пыльцы в зависимости от расстояния от источника загрязнения (хвостохранилища центральной обогатительной фабрики Хинганского ГОКа) по долине р. Левый Хинган. Процент стерильности пыльцы варьирует от 22 до 2. Обнаружен высокий уровень токсичности отходов хвостохранилища Хинганского ГОКа по тест-системе «Ростовой тест».

Ключевые слова: хвостохранилище, отходы, палинологические индикаторы, стерильность и фертильность пыльцы, ростовой тест

BIOLOGICAL MONITORING OF THE ENVIRONMENT STATE IN THE TIN MINING AREA (AS AN EXAMPLE OF THE KHINGANSKY MINING AND CONCENTRATION COMPLEX)**Novorotskaya A.G., Ionkin K.V.***Institute of Water and Ecology Problems, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, e-mail: novag59@mail.ru, ionkin.1983@mail.ru*

This paper gives a rationale for the use of biological methods: bioindication and biotesting to determine the extent of pollution in the zone of tin ore production waste impact by the example of tailing pond of Khingansky Mining and Concentration Complex (Jewish Autonomous Region). The possibilities of use of perennial plants as palynological indicators: red clover (meadow) (*Trifolium pratense* L.), field buttercup (*Ranunculus arvensis*), yellow avens (*Geum aleppicum*) and schizonotus (*Sorbaria sorbifolia*) in biological monitoring are studied. Data on pollen sterility depending on the distance from the source of pollution (tailing pond of concentrating mill of Khingansky MCC) in the valley of Levy Khingan. The percentage of pollen sterility varies from 22 to 2. The extremely high level of toxic waste of tailings pond of Khingansky MCC in the test system «The growth test» was found.

Keywords: tailing pond, waste, palynological indicators, pollen sterility and fertility, the growth test

Концепция комплексного экологического мониторинга окружающей среды (ОС), включающая биологический мониторинг, осуществляемый на станциях фоновоего мониторинга, разработана в конце 1970-х гг. [1] в связи с увеличением техногенной нагрузки на ОС. Большое внимание, уделяемое биологическому мониторингу, определяется тем, что биологический метод, менее трудоемкий по сравнению с физико-химическими методами, учитывает синергизм в действии несколько токсичных компонентов на живые организмы, является экспрессным и интегральным, позволяет объективно оценить и прогнозировать экологическую ситуацию в зоне антропогенного воздействия по характеру ответных реакций живых организмов. Комплексный подход в проведении биомониторинга при систематическом наблюдении позволяет судить о перспективах изменения структуры сообществ, продуктивности популяций

и устойчивости экосистем по отношению к изменяющимся факторам: природным или антропогенным [2]. В настоящее время антропогенный фактор является главным в разрушении фитоценозов. Большой интерес представляет поиск простых и информативных признаков, маркирующих устойчивость и состояние растительных организмов. В качестве объектов для биомониторинга могут быть использованы пыльцевые зерна как древесных, так и травянистых растений [2]. Установлено, что в условиях экологического неблагополучия генеративные органы растений, особенно органы мужской репродукции, испытывают наиболее сильное влияние [3], что проявляется в их аномальном развитии и низком качестве формируемой ими пыльцы [4], т.е. изменяется половая структура популяций, наблюдается стерильность половых клеток [5]. При проведении палиноиндикационных исследований оценивается доля нор-

мально развитой и дефектной пыльцы, при необходимости могут определяться показатели метаболизма пыльцевых зерен. Растения рассматриваются исследователями как наиболее чувствительные и надежные индикаторы загрязненности атмосферы и гидросферы. Результаты палинологических исследований традиционно используются при палеогеографических и палеоэкологических реконструкциях, сравнительно недавно – для комплексной оценки качества ОС современной и прошлых эпох, а также для прогнозирования ряда природных явлений и вероятностных изменений ОС [3], при проведении экологического и горно-экологического мониторинга [6, 7].

Освоение твердых полезных ископаемых в Дальневосточном регионе способствует интенсивному загрязнению объектов ОС. Наибольшую опасность представляют горнопромышленные отходы, складываемые в хвостохранилищах. Происходит деградация экосистем и их разрушение. Однако проблема реабилитации площадей, вовлеченных в процесс горного производства, до сих пор не решена [8, 9].

Горное предприятие ОАО «Хинганский ГОК» осваивало Хинганское и Кардубское оловорудные месторождения, однако основа минерально-сырьевой базы комбината – Хинганское месторождение, которое разрабатывалось с 1946 г. открытым, а с 1963 г. – подземным способом. Извлечение олова из руды на предприятии было самым высоким в отрасли – около 82%. В 2005 г. предприятие остановлено. В результате длительной эксплуатации оловорудных месторождений образовалось около 8,5 млн т токсичных отходов горных пород и хвостов рудообогащения, сосредоточенных в отвалах и хвостохранилищах, что ведет к загрязнению ОС, снижению качества среды обитания. Проведенными исследованиями в зоне влияния хвостохранилища ЦОФ (центральной обогатительной фабрики) Хинганского ГОКа, расположенного в районе пос. Хинганск (ЕАО, Облученский район), установлено, что этот объект требует пристального внимания, как чрезвычайно опасный, являющийся основным источником загрязнения ОС. Техническое состояние горнотехнического сооружения, не зарегистрированного в Российском реестре опасных производственных объектов, аварийное. Превышение ПДК токсичных элементов отмечено в почвогрунтах, в поверхностных водах и в растительности [10]. Происходит ин-

тенсивное пылевое загрязнение среды обитания с осушенной поверхности хвостохранилищ на расстояние не менее четырех километров. В связи с этим возникает необходимость в обеспечении экологической безопасности горного объекта. В работах предложен метод комплексной оценки воздействия процессов переработки оловорудного сырья на ОС [10], дано обоснование применения метода биоиндикации в системе горно-экологического мониторинга [11–13].

Цель исследования: изучить возможность использования растений-палиноиндикаторов в биологическом контроле территории оловорудного освоения (Хинганского ГОКа).

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования выбраны следующие виды многолетних растений: клевер красный (луговой) (*Trifolium pratense* L.), лютик полевой (*Ranunculus arvensis*), гравилат прямой (*Geum aleppicum*) и рябинник рябинолистный (*Sorbaria sorbifolia*), у которых изучали спонтанную и индуцированную стерильность пыльцевых зерен по методу [14]. Исследования проводились в конце июня – начале июля 2012–2013 гг. Отбирались соцветия растений в сухую погоду по доминирующим видам, произрастающим на территориях, различающихся по степени антропогенной нагрузки в пределах воздействия хвостохранилища ЦОФ Хинганского ГОКа в шести точках (станциях). Пять интегральных проб отобрано по долине р. Левый Хинган, ниже по течению (станции № 2–6) в соответствии с преимущественно юго-западным (на 70%) направлением ветра по долине р. Левый Хинган, обусловленным рельефом, на удалении от источника загрязнения (хвостохранилища ЦОФ) от 0,5 км до 6 км, одна проба – непосредственно у хвостохранилища, на его откосе (станция № 1). Контролем служила точка отбора, расположенная северо-восточнее от пос. Хинганск, в 2 км от хвостохранилища ЦОФ ОАО «Хинганолово» (рис. 1, таблица). На хвостохранилище растительность отсутствовала.

В работе использованы следующие биологические методы «Стерильность пыльцы» (биоиндикация) и «Ростовой тест» (биотестирование).

Биоиндикационный метод «Стерильность пыльцы». Собранный в сухую погоду в зоне влияния горных работ с указанных зон репродуктивный материал (цветы многолетних растений, отобранные у непо-

врежденных здоровых экземпляров, произрастающих в центре экотопа) фиксировали в уксуснокислом спирте (3:1), а затем, после промывки в 70%-ном спирте, переносили в 80%-ный этиловый спирт, где хранили до цитологического анализа.

Фертильность пыльцевых зёрен на временных давленных препаратах определяли йодным методом, в основе которого лежит определение крахмала при помощи йодной реакции [14]. Зрелые пыльники вскрывались двумя иглами на предметном стекле, смачивались йодным раствором и, после удаления лишних тканей, накрывались покровным стеклом. При необходимости добавлялось еще 2–3 капли йодного раствора. Фертильные и стерильные зерна отличаются по содержанию крахмала. Обычно фертильное пыльцевое зерно полностью заполнено крахмалом, а стерильное не имеет его совсем или содержит следы. Через 2–3 минуты приготовленный препарат исследовался под микроскопом «Биолам» Ломо Р-14 с подсветкой (увеличение 7х20, 7х40 или 7х90). Под микроско-

пом фертильные пыльцевые зерна имели темно-фиолетовый (почти черный) цвет, стерильные зерна и оболочки пыльцевых зерен оставались неокрашенными. В каждом приготовленном препарате просматривалось более 500 зерен пыльцы. Производился подсчет стерильных и фертильных пыльцевых зерен. Количество стерильных зерен определялось в процентах: $M = g \cdot 100 / N$, где M – количество стерильных клеток на 100 клеток всего, g – количество стерильных зерен, N – количество всех зерен. Достоверность подсчета определялась по формуле $m = \sqrt{g(100 - g) / N}$, результаты выражались через $M \pm m$, где $m < M$. Рассчитано отношение фертильных пыльцевых зёрен к стерильным (Φ/C), характеризующее чувствительность репродуктивных органов растений к техногенному загрязнению ОС. Статистическая обработка информации проведена с помощью пакета программы EXCEL-2010. В качестве критерия оценки достоверности наблюдаемых изменений использовали t-критерий Стьюдента [15].

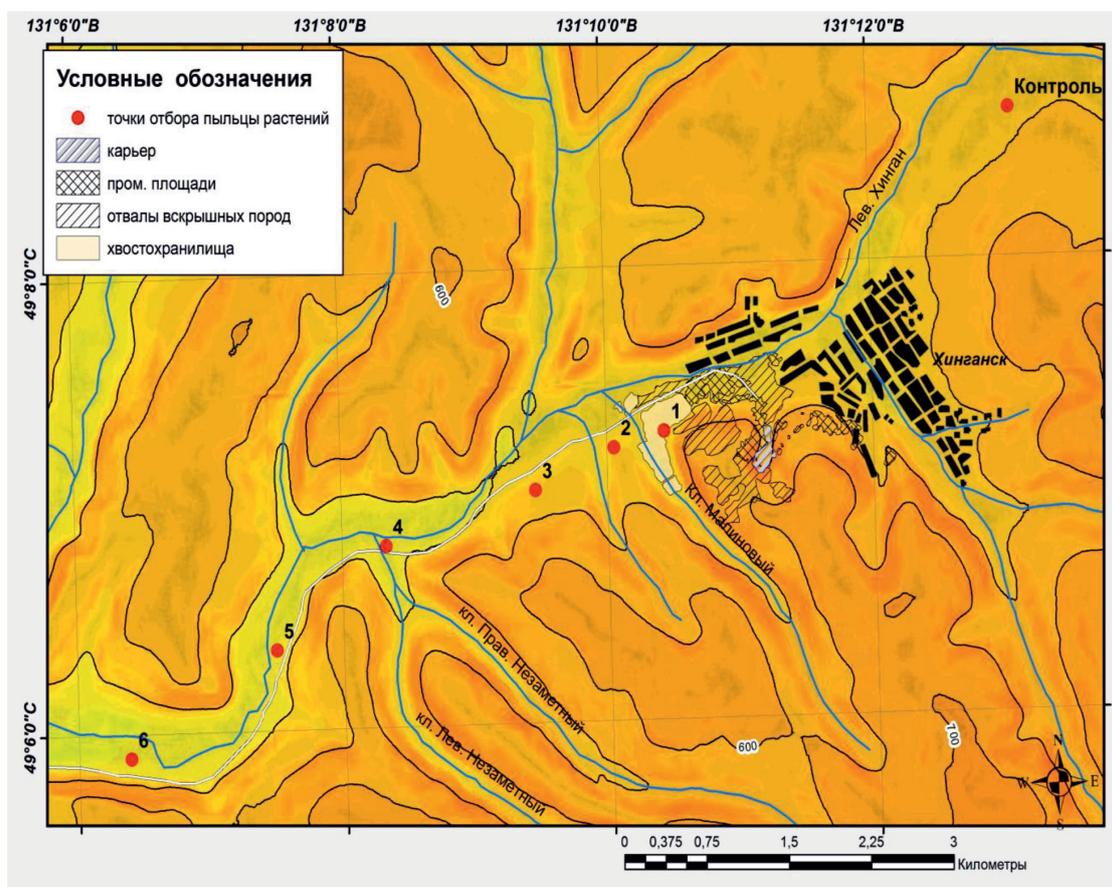


Рис. 1. Схема отбора проб в зоне влияния хвостохранилищ Хинганского ГОКа, 2012, 2013

Метод биотестирования «Ростовой тест». Проведено биотестирование субстрата «хвостов» из хвостохранилища ЦОФ, на семенах горчицы, в качестве контрольного субстрата использована дистиллированная вода. Эксперимент проводился в трех повторностях с равным количеством семян горчицы (10 штук) в закрытых чашках Петри при комнатной температуре на увлажненном субстрате. Количество субстрата во всех опытах составило 5 г, объем дистиллированной воды – 5 см³.

Результаты исследования и их обсуждение

«Стерильность пыльцы». У изученных растений, произрастающих как в экологически относительно благоприятной (контрольной) зоне, так и зонах по мере удаления от источника загрязнения – хвостохранилища ЦОФ, были выявлены существенные различия показателей спонтанной и индуцированной стерильности мужского гаметофита.

Данные индуцированной техногенным загрязнением стерильности пыльцевых зерен изученных культур, произрастающих в зонах по мере удаления от источника загрязнения, а также данные спонтанного уровня стерильности пыльцевых зёрен

Ranunculus arvensis, произрастающего в контрольной зоне, представлены в таблице. Рассчитаны величины отношения между показателями стерильности (С) и фертильности (Ф) пыльцы, средние значения стерильности пыльцы *Ranunculus arvensis* за период исследований (2012–2013 гг.) по мере удаления от источника загрязнения (рис. 2). Выявлен довольно низкий спонтанный уровень стерильности пыльцевых зёрен *Ranunculus arvensis* контрольной зоны – 0,3–0,4%. Было установлено, что стерильность пыльцы исследованных растений зависит от степени антропогенного воздействия на исследуемую территорию. По мере удаления от источника загрязнения процент стерильности убывает, возрастает процент фертильных зерен. Стерильность пыльцевых зерен *Ranunculus arvensis* уменьшается – в 4,5 и 4,1 раза на удалении в 0,5–6 км от хвостохранилища, *Trifolium pratense* L. – в 2,2 и 1,7 раз по мере удаления от хвостохранилища на 2,5 км, в 2012 г. и 2013 г. соответственно. Показатели стерильности мужского гаметофита резко возрастали у изученных многолетних растений (*Trifolium pratense* L., *Ranunculus arvensis*), произрастающих в непосредственной близости от источника загрязнения, максимально – более 20% (таблица).

Показатели стерильности пыльцы многолетних растений, произрастающих в контрольной зоне и в зоне влияния Хинганского ГОКа, 26.06.07 г. 2012/2013 гг., %

Место отбора пробы	Номер станции	Вид растительности	Общее количество	Стерильность (С, %)	Ф/С
Откос хвостохранилища	1	Клевер	515 545	$22,0 \pm 1,6$ $16,0 \pm 1,2$	$\frac{3,5}{5,2}$
Долина р. Лев. Хинган					
0,5 км от хвостохранилища	2	Лютик	519 533	$19,0 \pm 1,4$ $15,5 \pm 1,4$	$\frac{4,2}{5,4}$
1 км от хвостохранилища	3	Лютик	522 518	$17,8 \pm 1,2$ $13,2 \pm 1,3$	$\frac{4,6}{6,6}$
2,5 км от хвостохранилища	4	Лютик	528 541	$12,5 \pm 2,1$ $11,8 \pm 1,2$	$\frac{7,0}{7,5}$
Там же	4	Клевер красный	560 585	$9,8 \pm 2,1$ $9,5 \pm 1,2$	$\frac{9,2}{9,5}$
4 км от хвостохранилища	5	Лютик	528 542	$8,9 \pm 2,2$ $8,1 \pm 2,1$	$\frac{10,2}{11,3}$
6 км от хвостохранилища	6	Гравилат	538 552	$2,5 \pm 1,5$ $1,7 \pm 1,2$	$\frac{39,0}{57,8}$
Там же	6	Рябинолистник	519 528	$2,5 \pm 1,5$ $2,0 \pm 1,2$	$\frac{35,1}{49,0}$
Там же	6	Лютик	511 532	$4,2 \pm 1,2$ $3,8 \pm 1,2$	$\frac{22,8}{25,3}$
Контроль, северо-восточнее от пос. Хинганск, в 2 км от хвостохранилища		Лютик	508 520	$0,3 \pm 1,2$ $0,4 \pm 1,2$	

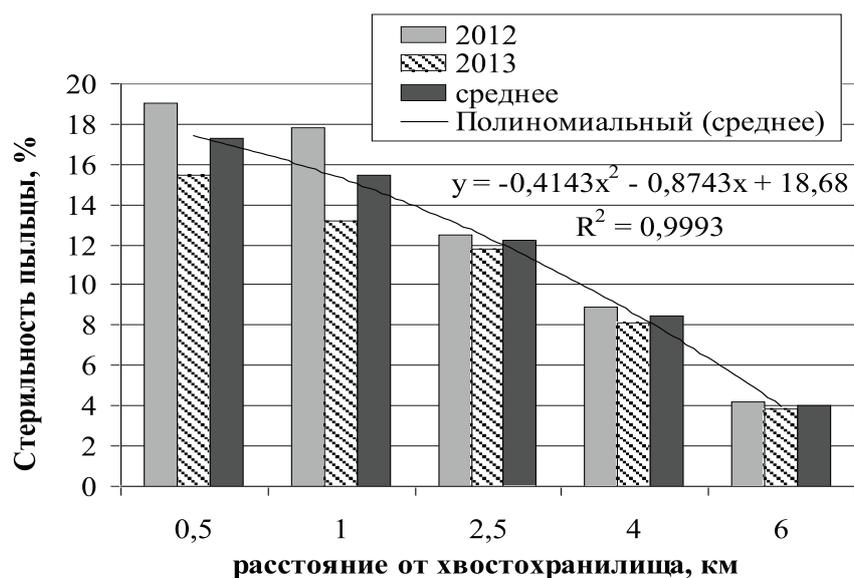


Рис. 2. Средние значения стерильности пыльцы лютика полевого (*Ranunculus arvensis*) по мере удаления от источника загрязнения

Величины стерильности пыльцы *Ranunculus arvensis* в зависимости от расстояния от хвостохранилища ЦОФ Хинганского ГОКа описываются следующими уравнениями: $y = -0,3786x^2 - 1,5786x + 21,38$ (2012 г.) и $y = -0,45x^2 - 0,15x + 15,88$ (2013 г.) (рис. 2). Там же приведены рассчитанные средние величины стерильности пыльцы *Ranunculus arvensis* и уравнение для периода наблюдений (2012–2013 гг.). Используемый нами метод «стерильности пыльцы» свидетельствует о том, что токсиканты накапливаются в органах растений в значительных количествах.

Тест-система «Ростовой тест». Обнаружен высокий уровень токсичности отходов хвостохранилища, т.е. субстрат непригоден для произрастания растительности, поэтому на хвостохранилище необходимо создавать модель почвенного профиля, отвечающую биоклиматическим условиям региона.

Выводы

Антропогенное загрязнение ОС негативно влияет на репродуктивную сферу растений, снижая фертильность пыльцы. Наиболее чувствительны к антропогенной нагрузке органы мужской репродукции популяции лютика полевого (*Ranunculus arvensis*) и клевера красного (*Trifolium pratense* L.). Гравилат прямой (*Geum aleppicum*) и рябинник рябинолистный (*Sorbaria sorbifolia*) также могут быть ис-

пользованы в качестве палиноиндикаторов территории горно-рудного освоения.

Список литературы

1. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю.А. Израэль. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 375 с.
2. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / О.П. Мелехова, Е.И. Егорова, Т.И. Евсеева и др. / [под ред. О.П. Мелеховой, Е.И. Егоровой]. – М.: Академия, 2007. – 288 с.
3. Дзюба О.Ф. Палиноиндикация качества окружающей среды / О.Ф. Дзюба. – СПб.: Недра, 2006. – 198 с.
4. Ибрагимова Э.Э. Палиноморфологическая и палинотоксинологическая оценка аэротехногенного загрязнения в урбозкосистемах // Самарский научный вестник. – 2015. – № 2(11). – С. 83–86.
5. Кончина Т.А. Возможности использования пыльцы в биоиндикации водоемов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2014. – № 6–1. – С. 67–70.
6. Палинологические исследования в практике инженерно-экологических изысканий / О.Ф. Дзюба [др.] // Нефтегазовая геология, Теория и практика. – СПб.: Всероссийский научно-исследовательский геологоразведочный институт. – 2013. – Т. 8, № 2. URL: http://www.ngtg.ru/rub/7/24_2013.pdf (дата обращения: 02.08.2017).
7. Крупская Л.Т. Проблемы организации горно-экологического мониторинга экосистем зоны влияния хвостохранилищ с токсичными отходами переработки оловорудного сырья / Л.Т. Крупская, М.Б. Бубнова, А.Г. Новороцкая // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 1. – С. 192–199.
8. Основные направления решения экологических проблем минерально-сырьевого комплекса в Дальневосточном регионе / К.Н. Трубецкой [и др.] // Геоэкология. – 2009. – № 6. – С. 483–489.
9. Ханчук А.И. Экологические проблемы освоения оловорудного сырья в Приморье и Приамурье / А.И. Ханчук, Л.Т. Крупская, В.П. Зверева // География и природные ресурсы. – 2012. – № 1. – С. 62–67.

10. Новороцкая А.Г., Ионкин К.В. Метод комплексной оценки воздействия процессов переработки оловорудного сырья на окружающую среду (на примере Хинганского ГОКа) // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: Труды IV Всерос. симп. и Всерос. чтений (5–8 нояб., 2012 г.). – Чита: Поиск, 2012. – С. 83–87.

11. Крупская Л.Т. Биоиндикационные методы как элемент горно-экологического мониторинга зон влияния горнодобывающих объектов юга Дальнего Востока / Л.Т. Крупская, А.М. Дербенцева, А.В. Леоненко // Экологические системы и приборы. – 2005. – № 11. – С. 6–9.

12. Новороцкая А.Г., Крупская Л.Т. Организация горно-экологического мониторинга в зоне хвостохранилища в бассейне р. Силинки // III Дружининские чтения: Комплексные исследования природной среды в бассейне р. Амур: материалы межрегион. науч. конф. (Хабаровск, 6–9 окт., 2009 г.). – Хабаровск: ДВО РАН, 2009. – Кн. 1. – С. 39–42.

13. Крупская Л.Т., Зверева В.П. Оценка влияния отходов переработки оловорудного сырья на объекты окружающей среды (на примере Хрустальненского ГОКа) // Сибирский экологический журнал. – 2011. – № 6. – С. 797–803.

14. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений: учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений / З.П. Паушева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1988. – 271 с.

15. Ивантер Э.В. Элементарная биометрия: учеб. пособие / Э.В. Ивантер, А.В. Коросов. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. – 104 с.

References

1. Izrael Ju.A. Jekologija i kontrol sostojanija prirodnoj sredy / Ju.A. Izrael. L.: Gidrometeoizdat, 1979. 375 p.

2. Biologicheskij kontrol okruzhajushhej sredy: bioindikacija i biotestirovanie: ucheb. posobie dlja studentov vyssh. ucheb. zavedenij / O.P. Melehova, E.I. Egorova, T.I. Evseeva i dr. / [pod red. O.P. Melehovoj, E.I. Egorovoj]. M.: Akademiya, 2007. 288 p.

3. Dzjuba O.F. Palinoidikacija kachestva okruzhajushhej sredy / O.F. Dzjuba. SPb.: Nedra, 2006. 198 p.

4. Ibragimova Je.Je. Palinomorfologicheskaja i palinotoksikologicheskaja ocenka ajerotehnogonnogo zagrijaznenija v urbojekosistemah // Samarskij nauchnyj vestnik. 2015. no. 2(11). pp. 83–86.

5. Konchina T.A. Vozmozhnosti ispolzovanija pylcy v bioindikacii vodoemov // Aktualnye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk. 2014. no. 6–1. pp. 67–70.

6. Palinologicheskie issledovanija v praktike inzhenerno-jekologicheskikh izyskanij / O.F. Dzjuba [dr.] // Neftegazovaja geologija, Teorija i praktika. SPb.: Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij geologorazvedochnyj institut. 2013. T. 8, no. 2. URL: http://www.ngtg.ru/rub/7/24_2013.pdf (data obrashhenija: 02.08.2017).

7. Krupskaja L.T. Problemy organizacii gorno-jekologicheskogo monitoringa jekosistem zony vlijanija hvostohranilishh s toksichnymi othodami pererabotki olovorudnogo syrja / L.T. Krupskaja, M.B. Bubnova, A.G. Novorockaja // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten. 2012. no. 1. pp. 192–199.

8. Osnovnye napravlenija reshenija jekologicheskikh problem mineralno-syrevogo kompleksa v Dalnevostochnom regione / K.N. Trubeckoj [i dr.] // Geojekologija. 2009. no. 6. pp. 483–489.

9. Hanchuk A.I. Jekologicheskije problemy osvoenija olovorudnogo syrja v Primore i Priamure / A.I. Hanchuk, L.T. Krupskaja, V.P. Zvereva // Geografija i prirodnye resursy. 2012. no. 1. pp. 62–67.

10. Novorockaja A.G., Ionkin K.V. Metod kompleksnoj ocenki vozdejstvija processov pererabotki olovorudnogo syrja na okruzhajushhiju sredy (na primere Hinganskogo GOKa) // Mineralogija i geohimija landshafta gornorodnyh territorij. Sovremennoe mineraloobrazovanie: Trudy IV Vseros. simp. i Vseros. chtenij (5–8 nojab., 2012 g.). Chita: Poisk, 2012. pp. 83–87.

11. Krupskaja L.T. Bioindikacionnye metody kak jelement gorno-jekologicheskogo monitoringa zon vlijanija gornodobyvajushhij obektov juga Dalnego Vostoka / L.T. Krupskaja, A.M. Derbenceva, A.V. Leonenko // Jekologicheskije sistemy i pribory. 2005. no. 11. pp. 6–9.

12. Novorockaja A.G., Krupskaja L.T. Organizacija gorno-jekologicheskogo monitoringa v zone hvostohranilishha v bassejne r. Silinki // III Druzhininskie chtenija: Kompleksnye issledovanija prirodnoj sredy v bassejne r. Amur: materialy mezhhregion. nauch. konf. (Habarovsk, 6–9 okt., 2009 g.). Habarovsk: DVO RAN, 2009. Kn. 1. pp. 39–42.

13. Krupskaja L.T., Zvereva V.P. Ocenka vlijanija othodov pererabotki olovorudnogo syrja na obekty okruzhajushhej sredy (na primere Hrustal'nenskogo GOKa) // Sibirskij jekologicheskij zhurnal. 2011. no. 6. pp. 797–803.

14. Pausheva Z.P. Praktikum po citologii rastenij: uchebniki i ucheb. posobija dlja studentov vyssh. ucheb. zavedenij / Z.P. Pausheva. 4-e izd., pererab. i dop. M.: Agropromizdat, 1988. 271 p.

15. Ivanter Je.V. Jelementarnaja biometrija: ucheb. posobie / Je.V. Ivanter, A.V. Korosov. Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 2010. 104 p.

УДК 539.3:621.643.053

**АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
МАССИВА, ОСЛАБЛЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИМИ
ПОДЗЕМНЫМИ ХРАНИЛИЩАМИ ГАЗА**

Пеньков В.Б., Левина Л.В., Кузьменко Н.В.

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, e-mail: vbpenkov@mail.ru,
satalkina_lyubov@mail.ru, nik2.kuzmenko@mail.ru*

В работе выполнен анализ напряженно-деформированного состояния горного массива, ослабленного взаимодействующими равновеликими полостями (подземные хранилища газа, ПХГ) при различных режимах эксплуатации хранилищ. Неоднородность жесткостных свойств среды обусловлена геологическими причинами: упругие параметры грунта меняются с глубиной его залегания под поверхностью земного шара. Эффективным средством решения задачи для неоднородного упругого многополостного тела явился метод граничных состояний, обвязанный методом возмущений, позволяющий получать решение в численно-аналитической форме. Результаты аналитического решения приведены в графической форме, удобной для интерпретации. Оценена концентрация напряжений при различных способах нагружений и значениях малого параметра, отвечающего за неоднородность среды. Показана достоверность решений. Выработана рекомендация по укреплению проблемных зон на границах полостей.

Ключевые слова: подземные хранилища газа, ПХГ, метод граничных состояний, МГС, многополостность

**ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE OF PILLAR, WEAKENED
BY THE INTERACTION OF UNDERGROUND GAS STORAGE**

Penkov V.B., Levina L.V., Kuzmenko N.V.

*Lipetsk State Technical University, Lipetsk, e-mail: vbpenkov@mail.ru,
satalkina_lyubov@mail.ru, nik2.kuzmenko@mail.ru*

The analysis of the stress-strain state of mountain range, weakened by equal interacting cavities (underground gas storage, UGS) for various modes of operation of storage is done in the work. Heterogeneity of the mechanic properties of the environment are caused by the geological reasons: elastic parameters of soil are changed with a depth of his bedding under the surface of the globe. An effective means of solving the problem for an inhomogeneous elastic multi-cavity body was method of boundary states (MBS), tied with the perturbation method, allowing to receive the decision in a numerical – analytical form. The results of the analytical solution are presented in graphical form for easy interpretation. The concentration of stresses at various ways of loading and the values of the small parameter, which is responsible for heterogeneity of the environment, are estimated. The accuracy of decisions is shown. Recommendation to strengthen of problem areas at the boundaries of the cavities is developed.

Keywords: underground gas storage, UGS, method of boundary states, MBS, multi-cavity

Подземные хранилища газа (ПХГ) являются неотъемлемой частью единой системы газоснабжения не только России, но и соседних государств, взаимодействующих с Газпромом. Их роль весьма значительна и постоянно возрастает. Используются не только старые выработки, но строятся новые надежные ПХГ. Удобству их эксплуатации отвечает ряд соображений, возникающих [1] из сравнения с иными способами обеспечения потребления газа: они находятся вблизи объекта использования, что сказывается на времени доставки газа потребителю, позволяет регулировать сезонную неравномерность потребления газа, снижать пиковые нагрузки, обеспечивать гибкость и надежность поставок.

Вопросам обеспечения прочности и устойчивости подземных выработок [2], а также их крепей [3] уделяется существенное внимание. В настоящей работе ставится целью прогнозирование результатов меха-

нического взаимодействия полостей (ПХГ). Для ее достижения намечены и реализованы следующие задачи: выбор метода решения (МГСВ – новый энергетический метод граничных состояний в сочетании с возмущениями) [4]; постановка и решение ряда задач (формирование граничных условий (ГУ), обезразмеривание, обеспечение решения); оценка характеристик прочности и устойчивости; выработка рекомендаций.

**Метод граничных состояний –
эффективное средство решения
многополостных задач**

В МГС (методе граничных состояний) [5] под состоянием среды понимается согласованный набор ее характеристик. В случае изотропной упругости ее состояние в области V описывают [6] соотношения Коши

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}), \quad (1.1)$$

обобщенный закон Гука

$$\sigma_{ij} = \lambda \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij}, \quad (1.2)$$

уравнения равновесия

$$\sigma_{ij,j} + X_i = 0, \quad (1.3)$$

где u_i – компонента вектора перемещения, σ_{ij} , ε_{ij} – компоненты тензоров напряжений и деформаций, λ , μ – параметры Ламе (в общем случае неоднородные), X_i – объемные силы, δ_{ij} – символ Кронекера. Тогда внутреннее состояние есть непротиворечивый набор $\xi = \{u_i, \varepsilon_{ij}, \sigma_{ij}\}$, отвечающий уравнениям (1.1)–(1.3).

Внутреннее состояние ξ индуцирует соответствующее граничное состояние $\gamma = \{u_i|_{\partial V}, p_i\}$, $p_i = \sigma_{ij}|_{\partial V} n_j$, где n_i – компонента единичного вектора внешней нормали к границе ∂V . В силу теоремы Сомильяны [7], принципа возможных перемещений и линейности определяющих соотношений изоморфизм $\xi \leftrightarrow \gamma$ является гильбертовым. Для обеспечения ортогонализации вводятся скалярные произведения:

$$(\xi^{(1)}, \xi^{(2)})_{\Xi} \equiv \int_V \sigma_{ij}^{(1)} \varepsilon_{ij}^{(2)} dv,$$

$$(\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)})_{\Gamma} = \int_{\partial V} p_i^{(1)} u_i^{(2)} ds,$$

$$(\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)})_{\Gamma} = (\xi^{(1)}, \xi^{(2)})_{\Xi}$$

в пространствах Ξ и Γ , составленных из возможных реализаций состояний ξ , γ соответственно.

Атрибуты результирующих состояний изоморфных гильбертовых пространств представляются соответственно рядами Фурье по элементам ортонормированных базисов $((\xi^{(i)}, \xi^{(j)})_{\Xi} = \delta_{ij})$:

$$\begin{aligned} u_i &= \sum_k c_k u_i^{(k)}, \quad \sigma_{ij} = \sum_k c_k \sigma_{ij}^{(k)}, \\ \varepsilon_{ij} &= \sum_k c_k \varepsilon_{ij}^{(k)}, \quad u_i|_{\partial V} = \sum_k c_k u_i^{(k)}|_{\partial V}, \\ p_i &= \sum_k c_k p_i^{(k)}. \end{aligned} \quad (1.4)$$

Соотношения (1.1)–(1.3) составляют задачу линейной неоднородной эластостатики, для которой из-за функционального наполнения коэффициентов Ламе общее решение отсутствует. Декомпозиция методом А. Пуанкаре приводит к последовательности линейных задач эластостатики с постоянными коэффициентами.

Решение задачи каждого приближения состоит в определении коэффициентов Фурье из информации, содержащейся в ГУ.

МГС эффективно решены многие основные и смешанные задачи эластостатики для односвязных тел. В последнее время МГС эффективно развит в части решения задач для многосвязных тел. К настоящему времени – задачи для неограниченного тела с полостями и включениями: о взаимовлиянии сферических полостей (1-я основная), о взаимовлиянии сферических включений (2-я основная) [8], о взаимодействии полости и включения (основная смешанная) [8]; для ограниченного тела: сферический слой (осевая симметрия), сферический слой в шаре при различных нагружениях, сжатие кругового цилиндра, содержащего сферическую полость, задача о кубе со сферическими полостями.

Методология решения задач средствами МГС определена [4]. Выполним декомпозицию определяющих соотношений эластостатической среды методом А. Пуанкаре. Будем искать искомое состояние в виде разложения $\xi = \xi^0 + \beta \xi^1 + \dots + \beta^m \xi^m + \dots$ по малому параметру β . Считая ГУ отнесенными к состоянию ξ^0 , приходим к последовательности задач изотропной эластостатики:

$$\varepsilon_{ij}^m = \frac{1}{2} (u_{i,j}^m + u_{j,i}^m),$$

$$s_{ij}^m = \lambda^0 \varepsilon_{kk}^m \delta_{ij} + 2\mu^0 \varepsilon_{ij}^m,$$

$$s_{ij,j}^m + \tilde{X}_i^m = 0,$$

$$\tilde{X}_{i,j}^m = X_i^m + (\lambda^1 \varepsilon_{kk}^{m-1} \delta_{ij} + 2\mu^1 \varepsilon_{ij}^{m-1}), \quad (1.5)$$

где

$$\lambda = \lambda^0 + \beta \lambda^1, \quad \mu = \mu^0 + \beta \mu^1,$$

$$X_i = X_i^0 + \beta X_i^1 + \dots + \beta^m X_i^m + \dots,$$

а s_{ij}^m на шаге m формально выполняет роль компоненты тензора напряжений и строится по решению задачи итерации m . Тогда реальный тензор напряжений есть

$$\sigma_{ij}^m = s_{ij}^m + \lambda^1 \varepsilon_{kk}^{m-1} \delta_{ij} + 2\mu^1 \varepsilon_{ij}^{m-1}. \quad (1.6)$$

Одна из положительных особенностей использования МГС в контексте метода возмущений состоит в том, что поставленные ГУ достаточно удерживать лишь при итерации $m = 0$, а для последующих итераций достаточно решить первую или вторую основные задачи, поскольку в этих случаях построение решения сводится к рутинному подсчету квадратур. В приближении m общее решение для односвязного ограниченного либо неограниченного тела пред-

ставляется решениями Аржаных – Слободянского (1.7), (1.8) соответственно:

$$u_i^m = 4(1-\nu)B_i + x_j B_{i,j} - x_i B_{j,j} + \tilde{u}_i^m, \quad (1.7)$$

$$u_i^m = 4(1-\nu)B_i - (x_j B_j)_{,i} + \tilde{u}_i^m, \quad (1.8)$$

где \tilde{u}_i^m – известная величина как составляющая перемещения, обусловленная объемными силами \tilde{X}_i^m ; $\nu = \lambda/(\lambda + \mu)/2$ – коэффициент Пуассона, B_i – компонента произвольного гармонического вектора. Общие решения (1.7), (1.8) служат эффективно, формируя базис пространства состояний для тела.

Выражения (1.5), (1.6) показывают, что на каждом шаге итерации при решении неоднородной задачи формально возникают фиктивные неконсервативные объемные силы. Учет объемных сил непотенциально-го характера реализован и состоит в восстановлении внутреннего и ему соответствующего граничного состояний, обусловленных лишь этими силами.

Постановка задач о взаимодействии сферических полостей в коре земного шара

Для организации искусственных ПХГ реально достижимым является слой осадочных пород (осадочная оболочка глубиной до нескольких километров), перемежающихся с выступами гранитной оболочки, углубляющейся до десятков километров [9]. Слои базальтовый (до 30 км) и сиалевый (50–60 км) для практических целей пока технически не достижимы. Реальным окружением для ПХГ разумно считать пласты гранита, расположенные ближе к поверхности земного шара. Модуль сдвига гранита в нормальных условиях составляет величину порядка $1,6 \cdot 10^4$ МПа, коэффициент Пуассона зависит от структуры гранита и колеблется в пределах 0,1–0,15. Для осадочных пород он наблюдается в пределах 0,15–0,38 [10]. Учитывая перемеженность фракций гранита с прочими породами у поверхности земного шара, при расчетах будем принимать значение коэффициента равным 0,15 и считать его постоянным в верхнем слое коры глубиной до 0,5 км, в то время, как модуль сдвига возрастает с ростом давления [10]; давление у подошвы земной коры (около 50 км) составляет около 13 тысяч атмосфер, следовательно, линейная оценка изменения избыточного давления в земной коре по глубине h дает зависимость $p \approx 0,26h$ атм. [9]. Справочные данные указывают качественно на прямую зависимость модуля сдвига от давления, но не уточняют коли-

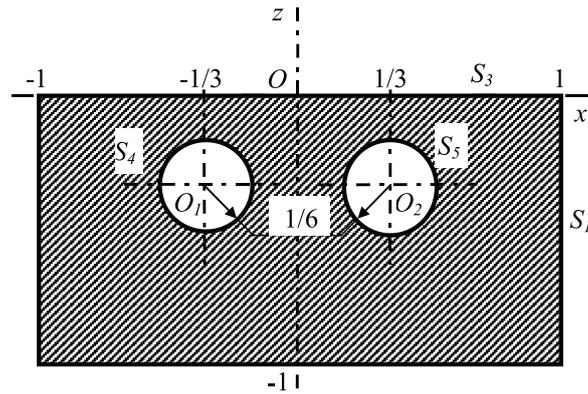
чественную сторону дела [9], поэтому модуль сдвига и ему соответствующий модуль объемного деформирования при выбранном значении коэффициента Пуассона будем оценивать посредством параметра β в виде $\mu = \mu_0(1 + \beta h)$, $\lambda = 0,43 \mu_0(1 + \beta h)$.

Учитывая практическую сторону организации ПХГ и рекомендованную глубину их расположения (от 100 до 1500 м) [10], рассмотрим задачу о взаимодействии двух сферических ПХГ, выполненных в гранитном слое толщиной $R_0 = 300$ м на глубине $h_0 = 100$ м радиусом $r_0 = 50$ м. Анализируемую область ограничим цилиндрической поверхностью радиуса R_0 ; ось цилиндра расположена симметрично относительно выработок, центры обеих полостей отстоят от осей на расстоянии h_0 . Толщина верхнего слоя до границы выработки назначена не очень значительной специально для того, чтобы отследить влияние полостей на состояние приповерхностного слоя. Напротив, нижняя грань слоя и цилиндрическая граница рассматриваемой области удалены от границ выработок на более значительные расстояния, чтобы наличие полостей мало искажало значение давления (в соответствии с принципом Сен-Венана) на искусственно выделенной границе.

В безразмерной постановке с масштабными коэффициентами по напряжениям μ_0 и по геометрии R_0 задача сводится к определению напряженно-деформированного состояния (НДС) для неоднородной эластостатической среды, заключенной внутри цилиндра радиуса 1 и высотой 1, простирающейся по оси z в пределах $z \in [-1; 0]$. Начало координат расположено на верхней грани, так что плоскость Oxy касается поверхности земного шара. Центры сфер радиусами $1/6$ суть $O_1(-1/3, 0, -1/3)$, $O_2(1/3, 0, -1/3)$ (рисунок). ГУ отвечают постановке первой основной задачи, а именно граница S_3 свободна от нагрузки, на границе S_2 действует нормальное давление $p_2 = 0,0005$, на границе S_1 давление меняется по закону $-0,0005z$, $z < 0$. Границы S_4 , S_5 полостей предполагаются загрузить тремя способами:

- 1) обе границы свободны от давления,
- 2) S_4 свободна от нагрузки, по S_5 действует давление $p_5 = 0,0016$,
- 3) обе полости нагружены максимальным давлением $p_4 = p_5 = 0,0016$.

Неоднородность механических свойств учитывалась малым параметром β : $\mu = 1 - \beta z$, $\lambda = 0,43(1 - \beta z)$, $\nu = 0,15$. Решение задачи проводилось средствами МГС, обвязанного методом возмущений при значениях $\beta \in \{0, 0,05, 0,1\}$.



Сечение $y = 0$ анализируемого слоя осадочной породы с полостями

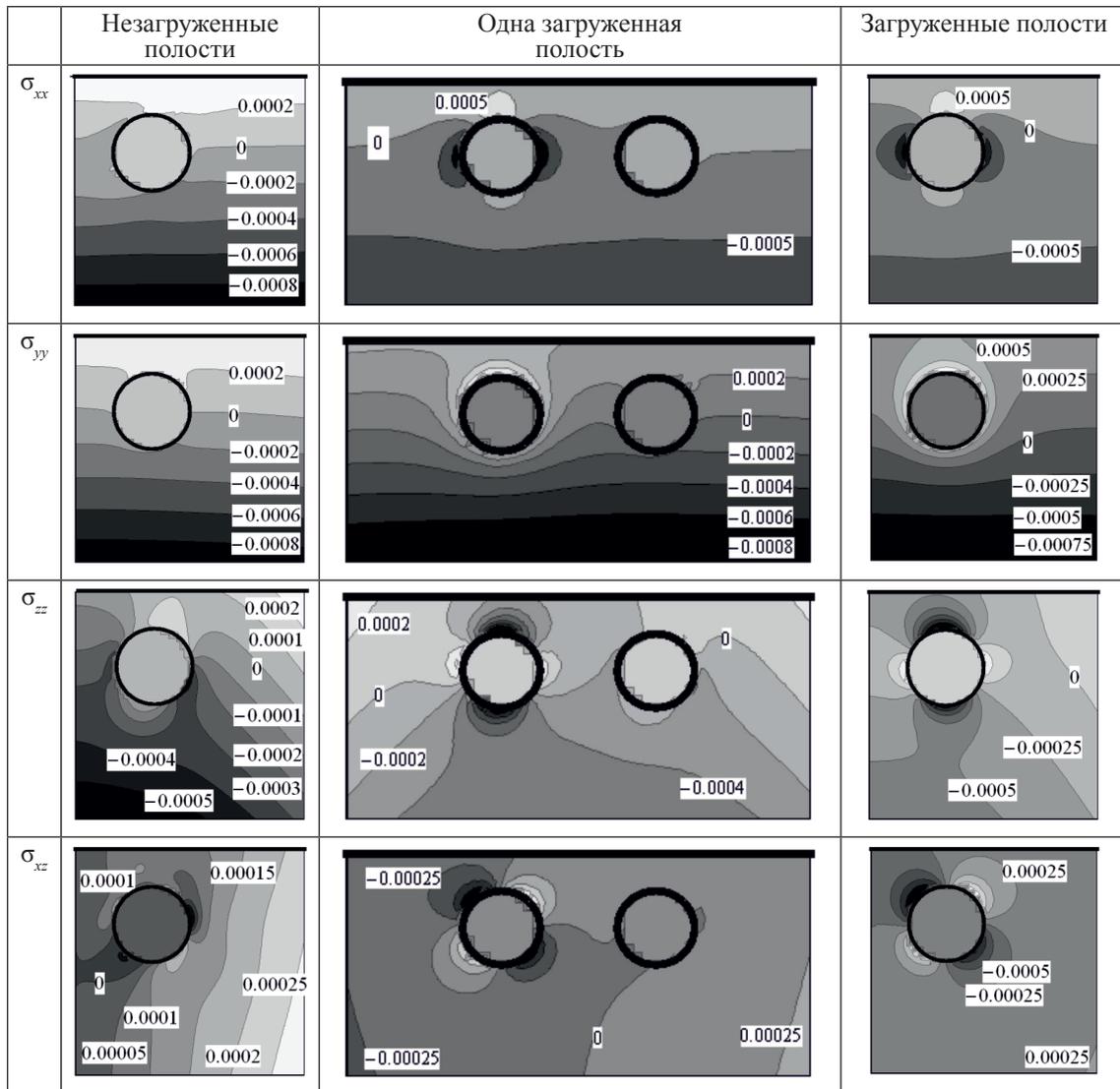
Таблица 1

Опорное линейное напряженное состояние ($\beta = 0$)

	Незагруженные полости	Одна загруженная полость	Загруженные полости
σ_{xx}			
σ_{yy}			
σ_{zz}			
σ_{xz}			

Таблица 2

Возмущенное напряженное состояние ($\beta = 0,1$)



Для каждой задачи выполнялось три итерации. Сходимость решения на каждой итерации оценивалась как косвенно (отслеживание насыщения суммы Бесселя), так и напрямую через среднеквадратичную интегральную невязку решения с ГУ. Для учета НДС, обусловленного объемными силами, искусственно порождающимися в итерационном процессе метода возмущений в соответствии с (1.5), использовался алгоритм, исходящий из существования счетного базиса сил, единственной компонентой которых является моном от x, y, z , размещенный в поочередно в каждой позиции вектора X .

Результаты решения средствами МГС построены в аналитическом виде, но ввиду неозоримости символьных выражений пред-

ставлены в графической форме (табл. 1–2, линии уровня напряжений). Нулевой уровень напряжений соответствует фону (внутренность полостей), более высоким значениям соответствуют более светлые тона. На рисунках, помещенных в формат таблиц, представлены напряжения в сечении $y=0$; в случае задач 1), 3), обладающих симметрией в постановке, удержано ограничение $x > 0$.

Анализ напряжений $\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}, \sigma_{xz}$ и их сопоставление между постановками показывают:

1) радиальные (по отношению к цилиндрической форме внешней границы целика) напряжения σ_{xx} достигают своего положительного максимума в верхних полюсах сферических полостей;

Таблица 3

Критерий разрушения (коэффициент концентрации напряжений k)

$\beta, \times 10^{-3}$	Незагруженные полости	Одна загруженная полость	Загруженные полости
0	0,35	1,52	1,70
0,05	0,41	1,57	1,70
0,1	0,46	1,61	1,70

Таблица 4

Оценка достоверности решения (невязка)

$\beta, \times 10^{-3}$	Незагруженные полости	Одна загруженная полость	Загруженные полости
0	0,89	0,91	0,88
0,05	0,90	0,91	0,88
0,1	0,92	0,93	0,89

2) окружные (σ_{yy}) также имеют приоритетные значения в «северных полюсах»;

3) характер осевых (σ_{zz}) напряжений существенно зависит от ГУ и взаимовлияния полостей, но по уровню уступает комбинации $\sigma_{xx} \sim \sigma_{yy}$, ориентированной на разрыв волокон, примыкающих к полостям;

4) сдвиговые напряжения (σ_{xz}) в окрестности полости в существенной степени определяются именно нагружением этой полости.

Эти соображения позволяют сформировать критерий, по которому можно судить об опасности образования трещин нормального отрыва в волокнах, примыкающих к полостям, а именно: в качестве коэффициента концентрации напряжений логично выбрать величину

$$k = \max_{i=1,2} \left\{ \sqrt{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2} \Big|_{N_i} \right\},$$

где «северные полюсы» полостей $N_{1,2}$ имеют координаты $\left(\pm \frac{1}{3}; 0; -\frac{1}{6} \right)$.

В табл. 3 сопоставлены значения коэффициента k при различных предельных случаях функционирования ПХГ и варьируемых значениях параметра β .

Из сопоставления значений видно, что наибольшую опасность в плане возникновения разрушения представляет собой вариант, когда обе полости загружены максимальным давлением.

О корректности построенных решений можно судить по интегральной среднеквадратической невязке ГУ с построенным граничным состоянием. Соответствующая информация помещена в табл. 4. Этого достаточно для констатации корректности решения, поскольку суммарное внутреннее состояние удовлетворяет тождественно соотношениям (1.5) на каждом шаге итерации.

Таким образом, сходимость итерационного процесса и достоверность решения показана во всех трех постановках.

Максимальное значение коэффициента концентрации напряжений $k = 0,00170$, которому с учетом масштаба по напряжениям $\mu_0 = 1,6 \cdot 10^4$ МПа, позволяет проектировать усиливающие элементы ПХГ, локализуемые в верхних полярных шапках полостей (разумеется, с назначаемыми конструктивными коэффициентами запаса прочности).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-41-480729 «р_а».

Список литературы

1. Газпром в вопросах и ответах. – URL: <http://www.gazpromquestions.ru/transmission/> (дата обращения: 08.08.2017).
2. Спорыхин А.Н. О потере устойчивости сферической полости / А.Н. Спорыхин, А.И. Шашкин // В сб.: Проблемы механики деформируемых тел и горных пород. – 2001. – С. 313–323.
3. Спорыхин А.Н. Устойчивости тел при больших докритических деформациях / А.Н. Спорыхин // Изв. АН СССР. МТТ. – 1975. – № 4. – С. 131–134.
4. Пеньков В.Б. Метод граничных состояний с возмущениями: неоднородные и нелинейные задачи теории упругости и термоупругости / В.Б. Пеньков, Л.В. Саталкина. – Germany: LAPLAMBERT Academic Publishing GmbH & Co, 2012. – 108 с.
5. Пеньков В.Б. Метод граничных состояний для решения задач линейной механики / В.Б. Пеньков, В.В. Пеньков // Дальневосточный математический журнал. – 2001. – Т. 2, № 2. – С. 115–137.
6. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела / Ю.Н. Работнов – М.: Наука, 1979. – 744 с.
7. Лурье А.И. Теория упругости / А.И. Лурье. – М.: Наука, 1970. – 940 с.
8. Пеньков В.Б. Применение метода граничных состояний для анализа упругой среды с полостями и включениями / В.Б. Пеньков, Л.В. Саталкина, А.С. Шульмин // Прикладная математика и механика. – 2014. – Т. 78, вып. 4. – С. 542–556.
9. Абатуров В.Г. Физико-механические свойства горных пород и породоразрушающий буровой инструмент: учебное пособие для вузов / В.Г. Абатуров. – Тюмень: Изд-во «Нефтегазовый университет», 2007. – 238 с.

10. Горшков Г.П. Строение земного шара / Г.П. Горшков. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1958. – 49 с.

References

1. Gazprom v voprosah i otvetah. URL: <http://www.gazpromquestions.ru/transmission/> (data obrashhenija: 08.08.2017).
2. Sporyhin A.N. O potere ustojchivosti sfericheskoj polosti / A.N. Sporyhin, A.I. Shashkin // V sb.: Problemy mehaniki deformiruemyh tel i gornyh porod. 2001. pp. 313–323.
3. Sporyhin A.N. Ustojchivosti tel pri bolshih dokriticheskikh deformacijah / A.N. Sporyhin // Izv. AN SSSR. MTT. 1975. no. 4. pp. 131–134.
4. Penkov V.B. Metod granichnyh sostojanij s voz-mushhenijami: neodnorodnye i nelinejnye zadachi teorii uprugosti i termouprugosti / V.B. Penkov, L.V. Sataalkina. Germany: LAPLAMBERT Academic Publishing GmbH & Co, 2012. 108 p.
5. Penkov V.B. Metod granichnyh sostojanij dlja reshenija zadach linejnoy mehaniki / V.B. Penkov, V.V. Penkov // Dalnevostochnyj matematicheskij zhurnal. 2001. T. 2, no. 2. pp. 115–137.
6. Rabotnov Ju.N. Mehanika deformiruемого tverdogo tela / Ju.N. Rabotnov M.: Nauka, 1979. 744 p.
7. Lure A.I. Teorija uprugosti / A.I. Lure. M.: Nauka, 1970. 940 p.
8. Penkov V.B. Primenenie metoda granichnyh sostojanij dlja analiza uprugoj sredy s polostjami i vkljuchenijami / V.B. Penkov, L.V. Sataalkina, A.S. Shulmin // Prikladnaja matematika i mehanika. 2014. T. 78, vyp. 4. pp. 542–556.
9. Abaturov V.G. Fiziko-mehanicheskie svojstva gornyh porod i porodorazrushajushhij burovoj instrument: uchebnoe posobie dlja vuzov / V.G. Abaturov. Tjumen: Izd-vo «Neftegazovyj universitet», 2007. 238 p.
10. Gorshkov G.P. Stroenie zemnogo shara / G.P. Gorshkov. M.: Gosudarstvennoe izdatelstvo tehniko-teoreticheskoj literatury, 1958. 49 p.

УДК 622.33

СХЕМЫ КАЧЕСТВЕННО-КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ УГЛЯ ПРИ ДОБЫЧЕ И ПОДГОТОВКЕ К ПОСТАВКАМ УДАЛЁННЫМ ПОТРЕБИТЕЛЯМ

Федоров В.И., Гаврилов В.Л., Хоютанов Е.А.

ФГБУН Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, Якутск,

e-mail: khoiutanov@igds.ysn.ru

Угольные разрезы центральной и северной зон Якутии, несмотря на их небольшие мощности, имеют важное значение при обеспечении топливом предприятий жилищно-коммунального сектора. Для изучения характера трансформации угольных потоков от георесурса до отгрузки потребителям рассмотрены цепочки добычи и поставки угля, включающие процессы выемки, погрузки, транспортировки, складирования, первичной переработки и сортировки. Представлены существующие технологические схемы разрезов, использующие подвижные и неподвижные элементы и емкости, дозирующие устройства. Объемно-качественные трансформации угля в потоке можно свести к физическим процессам перестановки, аккумуляции, деления, смешивания и классификации. Дополнительно учтены в анализе процессы сегрегации, смерзаемости и разубоживания полезного ископаемого. При переходе угля от статического состояния в запасах или забоях в динамические потоки формируются различного вида потери. Они учтены в схемах как геологические (при оконтуривании и подсчете запасов по заданным условиям), геотехнологические (оставление целиков различного типа, потери при отработке пластов), в «подушках» складов, в просыпях (при работе различных механизмов), при выдувании с пылью. Приведены схемы изменения качества угля на разрезах, включающие зольность, теплотворную способность, рабочую влажность, степень окисления, гранулометрический состав. Углубленное изучение по элементам позволило точнее и нагляднее подойти к сути количественной и качественной трансформации добываемого твердого топлива. Полученные результаты планируется использовать при развитии теоретических подходов к совершенствованию работы существующих и новых цепочек поставок угля и самих разрезов в их составе.

Ключевые слова: уголь, цепочки поставок, разрез, угольные потоки, технологические схемы, качество, трансформация, потери

SCHEMES OF QUALITATIVE AND QUANTITATIVE COAL TRANSFORMATION FOR MINING AND PREPARATION FOR SUPPLY TO THE REMOTE CONSUMERS

Fedorov V.I., Gavrilov V.L., Khoyutanov E.A.

Institute of Mining of the North of the Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, e-mail: khoiutanov@igds.ysn.ru

Open-pit coal mines in central and north zones of Yakutia, in spite of their small-scale capacities, have important significance for fuel supply of housing and utilities. The article focuses on the chains of mining and supply of coal including processes of excavation, loading, transportation, storage, primary processing and sorting. It presents the existing technological schemes of open-pit mines using movable and fixed elements and containers, metering devices. Volumetric and qualitative coal transformations in the flow can be reduced to physical processes of rearrangement, accumulation, division, mixing and classification. The process of segregation, losability and dilution of minerals are additionally taken into account in the analysis. A variety of types of losses are formed when coal moves from a static state in stocks or faces to dynamic flows. They are considered in the schemes as geological (delineation of the deposit and resource estimation according to conditions), geotechnological (reservation of pillars of different type, losses for seam mining), in storage pillows, in spillages (for different mechanism), blowing with dust. The article presents the schemes of coal quality change on open-pit, including ash, calorific value, working humidity, degree of oxidation, particle distribution. In-depth study of the elements made it possible to more accurately and more clearly approach the essence of the quantitative and qualitative transformation of the mined solid fuel. It is suggested to use the results in the development of theoretical approaches to improving the work of existing and new coal supply chains and open-pits themselves in their composition.

Keywords: coal, supply chain, open-pit coal mine, coal flow, technological scheme, quality, transformation, losses

Базовыми элементами в системах обеспечения твердым топливом удаленных потребителей Республики Саха (Якутия) являются несколько разрезов, имеющих небольшую производственную мощность и расположенных как в заполярной зоне, так и в центральных районах региона. Количество добываемого и поставляемого ими каменного («Зырянский», «Джебарик-Хая», «Харбалахский») или бурого («Кангаласский», «Кировский», «Кемпендэйский») угля

предопределяется сложившимся ограниченным спросом, слабо изменяющимся в динамике. Общей тенденцией в последние годы является снижение объемов добычи, что вызвано в основном расширяющимся использованием первичных углеводородов и продуктов их переработки. Потребительские свойства добываемого угля зависят в первую очередь от природного уровня качества минерального сырья и во вторую от используемых систем разработки и под-

ходов к организации и управлению существующими технологическими и бизнес-процессами. Применяемые на этих разрезах системы разработки угля представляют собой определённую очерёдность выполнения горно-подготовительных, вскрышных и добычных работ. Последние из них можно свести к ряду основных моделей взаимодействия горных выработок и оборудования, формирования в границах горных отводов потоков полезного ископаемого.

Для идентификации процессов, происходящих на упомянутых выше разрезах, и изучения характера трансформации угольных потоков при прохождении ими от геологического ресурса к отгружаемому товарному углю использована методика В.В. Ершова [1], адаптированная и дополненная применительно к цепочкам добычи и поставки угля. В проанализированных и формализованных технологических схемах (рис. 1), представленных в порядке роста сложности от 1.1 к 1.5, выделяются следующие процессы: выемка, погрузка, транспортировка, складирование, первичная переработка и сортировка, отгрузка потребителям.

Условные обозначения к текущей схеме и всем последующим приведены на рис. 2. При этом авторские обозначения, представленные в [1], дополнены и откорректированы с учётом изменений, вытекающих из более глубокого изучения вопроса качественно-количественной трансформации потоков угля. В их числе, например: рассмо-

трение цепочки «забой – отгрузка продукции потребителю» как единого технологического пространства с самостоятельными процессами предварительной подготовки сырья к поставкам для потребления в последующих переделах [2–3 и др.]; влияние сегрегации на однородность качественных характеристик минерального сырья при взрывании угля в забоях или при формировании складов различного назначения [4]; потенциальное воздействие, оказываемое на минеральное сырьё сезонными накопительными температурными процессами в забоях и на складах [5]; развитие теоретических и практических представлений об интегрированном управлении качеством угля при разработке сложноструктурных месторождений [6, 7].

Представленные технологические схемы разрезов можно рассматривать как систему потоков угля различной интенсивности, которые перемещаются разнообразными механизмами (экскаватор, погрузчик, бульдозер, автосамосвал и др.) или под действием силы тяжести. На пути угольного потока имеются подвижные транспортирующие элементы T_n и неподвижные T_n , емкости подвижные E_n и неподвижные E_n для временного хранения угля, дозирующие устройства D_3 , играющие подчиненную роль при формировании и движении потоков. Ряд элементов сочетает несколько функций, после идентификации у них двух функций ведущие на структурной схеме показаны первыми (рис. 3).

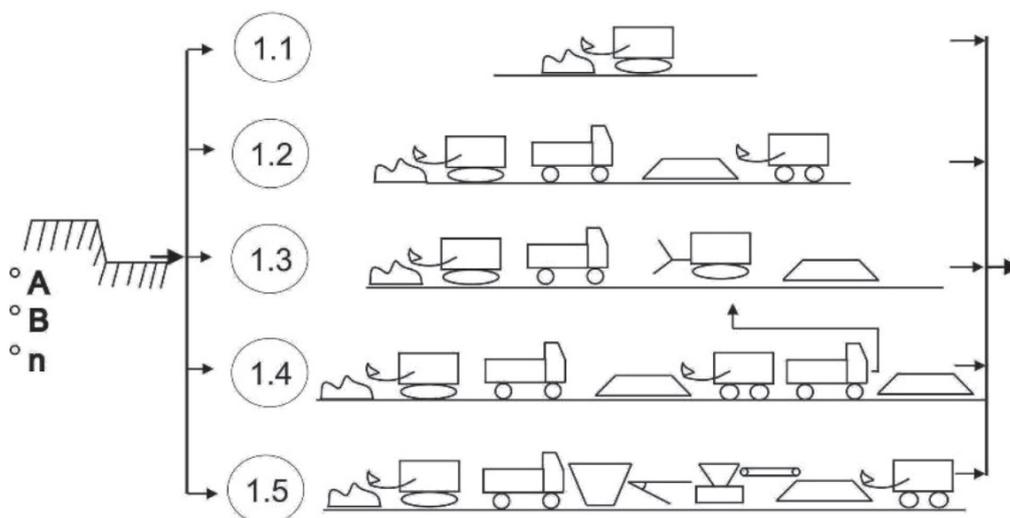


Рис. 1. Используемые технологические схемы на разрезах

Технологический элемент	Обозначение на технологической схеме	Идентификация	Обозначение на структурной схеме	Трансформация	Потери угля	Изменение качества угля
Блок		б		(М)	Гл	
Угольная пачка	° В	П		(М)	Т	Q O _x W
Забой		З		Р (М)	Р Т	Q O _x W A
Навал угля		E _n T _n		А С К Г Р (М)	В Р	A Q O _x W γ
Экскаватор		T _n E _n		Д	Пр	γ Q O _x
Погрузчик фронтальный		T _n E _n		Д(П)	Пр	γ Q O _x
Бульдозер		T _n E _n		Д(П)	Пр	γ Q O _x
Автосамосвал		T _n E _n		С(П)	Пр В	γ Q O _x W
Склад угля		E _n		А С (К) Г Р (М)	В Р	A Q O _x W γ
Дробилка		T _n		Д С (М)	Пр	Q O _x W γ
Конвейер		T _n E _n		С (М)	Пр В	Q O _x W γ

Рис. 2. Условные обозначения к схемам

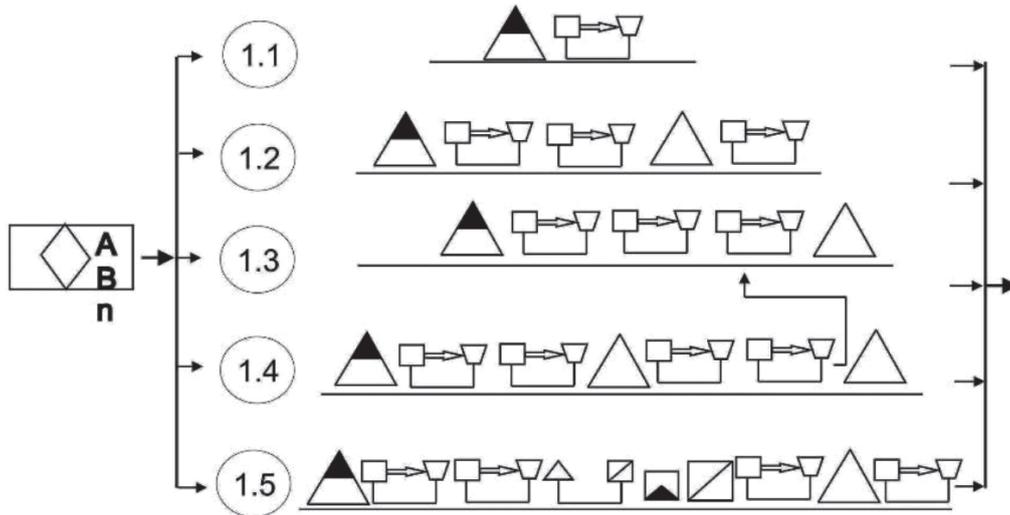


Рис. 3. Схемы идентификации угольных потоков

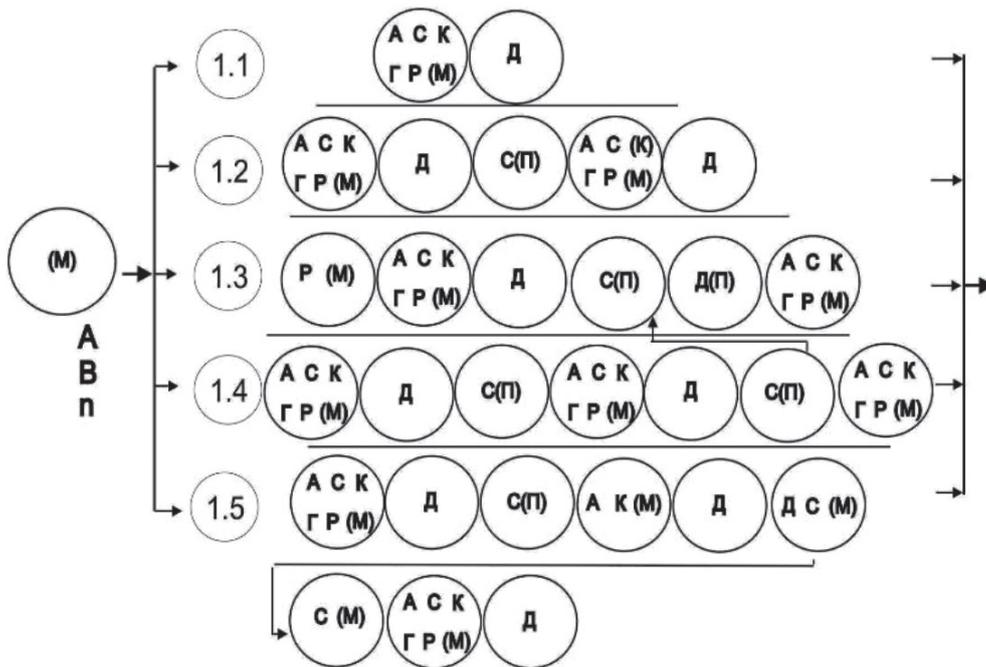


Рис. 4. Схемы трансформации угольных потоков на разрезах

Производимые в рамках единого технологического пространства объёмно-качественные трансформации угля в потоке сводятся к следующим физическим процессам (рис. 4): перестановка П, аккумуляция А, деление Д, смешивание С, классификация К. Для более адекватного понимания происходящих явлений необходимо дополнительно рассматривать ранее не включавшиеся

в анализ процессы сегрегации Г, смерзаемости М и разубоживания полезного ископаемого Р, которое помимо традиционного горно-технологического может включать ещё конструктивное, геолого-экономическое и природное разубоживание [8]. В совокупности всё это даёт возможность полнее учесть специфику отработки сложноструктурных угольных месторождений на Севере

и точнее подойти к рассмотрению процессов формирования качества добываемого и поставляемого потребителям угля.

Существующие схемы в основном можно отнести к классу комбинированных моделей формирования потоков полезного ископаемого со сложными внутренними связями, когда имеется несколько входов и выходов, наблюдается параллельное следование ветвей потоков с последовательным качественно-количественным преобразованием в каждой ветви, слияние ветвей в один поток, последующее разделение на несколько новых потоков.

В процессе перехода от статического состояния угля в запасах или забоях в динамическое в потоках возникают различного

вида потери, включающие геологические (при оконтуривании и подсчёте запасов по заданным кондициям) Гл, геотехнологические Т (оставление целиков различного типа, потери в почве, кровле пластов, «треугольниках», зонах нарушений), в «подушке» или «рубашке» складов Рб, в просыпах (при работе различных механизмов) Пр, при выдувании с пылью В (рис. 5, а). Рассмотрение порядка их формирования позволяет более наглядно представить по отдельным процессам этапы ранжирования всех видов возникающих потерь по экономической и экологической значимости с последующей разработкой мероприятий, направленных на обоснование их рационального уровня.

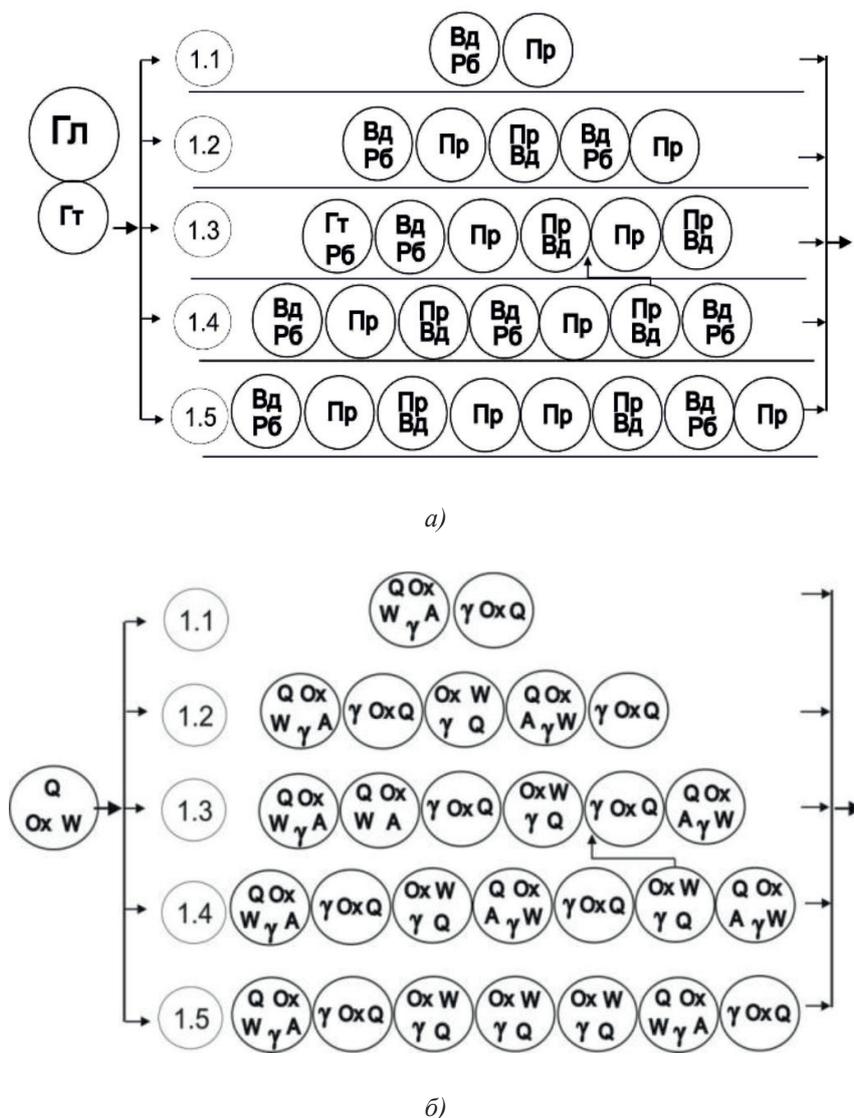


Рис. 5. Схемы количественных потерь (а) и изменения качества угля (б) на разрезах

При добыче и подготовке угля к поставкам также происходит изменение и его качества. Это касается рабочей влажности W (из-за воздействия атмосферных осадков, влияния солнца); зольности A (вследствие попадания или исключения пустой породы или высокозольной угольной массы в добываемое сырьё); теплотворной способности Q и степени окисления угля Ox (из-за соответствующих окислительных процессов при длительном нахождении угля во вскрытых и подготовленных к выемке запасов в забоях или добытого твёрдого топлива на складах); гранулометрического состава угля γ (из-за дробления и измельчения при воздействии механизмов или при многочисленных перевалках в забоях, на складах) (рис. 5, б).

Суммируя, можно говорить о комплексном рассмотрении и декомпозиции основных процессов, происходящих с углем в разрезах центральных и северных районов Якутии, начиная от добычи и заканчивая отгрузкой угля потребителям в труднодоступные районы. Поэлементное и поэтапное изучение позволило более точно и наглядно идентифицировать все используемые на малых разрезах технологические схемы, показать физическую суть трансформации угольных потоков, определить порядок количественной и качественной трансформации добываемого твёрдого топлива.

Полученные результаты планируется использовать при развитии методологических подходов к выявлению дополнительных резервов, направленных на совершенствование работы существующих цепочек поставок угля в труднодоступные регионы и самих разрезов в их составе, создание новых более эффективных, ресурсосберегающих и безопасных с точки зрения экономики и экологии угледобывающих производств.

Список литературы

1. Ершов В.В. Геолого-маркшейдерское обеспечение управления качеством руд / В.В. Ершов. – М.: Недра, 1986. – 261 с.
2. Трубецкой К.Н. О новых подходах к обеспечению устойчивого развития горного производства / К.Н. Трубец-

кой, С.В. Корнилов, В.Л. Яковлев // Горн. журн. – 2012. – № 1. – С. 15–19.

3. Snowden D.V. Dealing with demands of technical variability and uncertainty along the mine value chain / D.V. Snowden, I. Glacken, M. Noppe // Publication Series – Australian Institute of Mining and Metallurgy. – 2002. – № 8. – P. 93–100.

4. Лаптев Ю.В. Оптимизация параметров материально-производственных запасов карьера в режиме устойчивого развития горного предприятия. Часть 1 / Ю.В. Лаптев, Р.С. Титов // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2013. – № 11. – С. 235–243.

5. Курилко А.С. Знакопеременные температурные воздействия как фактор энергосбережения для технологий комплексной подготовки рудного сырья в условиях криолитозоны / А.С. Курилко, Е.В. Захаров, В.И. Попов // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2015. – № 5. – С. 84–91.

6. Геотехнологии открытой добычи минерального сырья на месторождениях со сложными горно-геологическими условиями: монография / С.А. Батугин, В.С. Литвинцев, В.И. Ческидов [и др.]. – Новосибирск : Изд-во «Гео», 2013. – 308 с.

7. Botvinnik A.A. Integrated model of the coal outlet stream in surface mining of coal seams / A.A. Botvinnik // Journal of Mining Science. – 2010. – Vol. 46. – № 3. – С. 271–279.

8. Ткач С.М. Объективная оценка разубоживания руд – перспективный путь повышения ресурсного потенциала недр / С.М. Ткач, С.А. Батугин, И.Д. Баракаева // Горный журнал. – 2016. – № 1. – С. 37–40.

References

1. Ershov V.V. Geologo-markshejderskoe obespechenie upravlenija kachestvom rud / V.V. Ershov. M.: Nedra, 1986. 261 p.

2. Trubeckoj K.N. O novyh podhodah k obespecheniju ustojchivogo razvitiya gornogo proizvodstva / K.N. Trubeckoj, S.V. Kornilkov, V.L. Jakovlev // Gorn. zhurn. 2012. no. 1. pp. 15–19.

3. Snowden D.V. Dealing with demands of technical variability and uncertainty along the mine value chain / D.V. Snowden, I. Glacken, M. Noppe // Publication Series Australian Institute of Mining and Metallurgy. 2002. no. 8. pp. 93–100.

4. Laptev Ju.V. Optimizacija parametrov materialno-proizvodstvennyh zapasov karera v rezhime ustojchivogo razvitiya gornogo predpriyatija. Chast 1 / Ju.V. Laptev, R.S. Titov // Gorn. inform.-analit. bjul. 2013. no. 11. pp. 235–243.

5. Kurilko A.S. Znakoperemennye temperaturnye vozdejstviya kak faktor jenergosberezhenija dlja tehnologij kompleksnoj podgotovki rudnogo syrja v uslovijah kriolitozony / A.S. Kurilko, E.V. Zaharov, V.I. Popov // Gorn. inform.-analit. bjul. 2015. no. 5. pp. 84–91.

6. Geotehnologii otkrytoj dobychi mineralnogo syrja na mestorozhdenijah so slozhnymi gorno-geologicheskimi uslovijami: monografija / S.A. Batugin, V.S. Litvincev, V.I. Cheskidov [i dr.]. Novosibirsk : Izd-vo «Geo», 2013. 308 p.

7. Botvinnik A.A. Integrated model of the coal outlet stream in surface mining of coal seams / A.A. Botvinnik // Journal of Mining Science. 2010. Vol. 46. no. 3. pp. 271–279.

8. Tkach S.M. Obektivnaja ocenka razubozhivaniya rud perspektivnyj put povysheniya resursnogo potentsiala nedr / S.M. Tkach, S.A. Batugin, I.D. Barakaeva // Gornyj zhurnal. 2016. no. 1. pp. 37–40.

УДК 550.7:551.243.4:553.98(571.56)

СНИЖЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ АНОМАЛИЙ, СВЯЗАННЫХ С ГАЗОНАСЫЩЕНИЕМ, ПО ТЕХНОЛОГИИ AVO-АНАЛИЗА НА ТЕРРИТОРИИ ВИЛЮЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ

Феоктистова О.В.

ООО «ИНГЕОСЕРВИС», Тюмень, e-mail: info@ingeos.info

В данной статье рассматривается методика комплексного анализа для выявления перспективных этажей газоносности на примере одной из площадей Восточной Сибири. Ранее, по проведенным сейсморазведочным работам 2D и данным бурения, на площади были выявлены и подготовлены к бурению газовые залежи в пермско-триасовом комплексе. С целью доизучения и детализации структурно-тектонического строения площади были проведены сейсморазведочные работы 3D, в результате которых было установлено блоковое строение площади и детализировано строение перспективных и потенциально перспективных этажей. Сейсмическое волновое поле характеризуется наличием «ярких пятен», обусловленных контрастом физических параметров углей и газоносных песчаников во вмещающих породах пермско-триасового и мелового комплексов, в связи с чем была поставлена задача проведения комплексного анализа с целью разделения аномалий «уголь» – «газ» и выявления газовых залежей. В данной статье приводится технология проведения атрибутивного AVO-анализа с использованием петрофизических трендов, установленных по диаграммам каротажа в интервалах мела и верхней перми, обоснование выделения аномалий, вызванных ловушками УВ.

Ключевые слова: Вилуйская синеклиза, аномалия «яркое пятно», метод AVO, петрофизические тренды, акустический импеданс, миграция УВ

REDUCTION OF UNCERTAINTY AT DETECTION OF GAS SATURATED ANOMALIES BY TECHNOLOGY OF AVO-ANALYSIS ON THE VILAYSKY SINKLESIS TERRITORY

Feoktistova O.V.

ООО «INGEOSERVIS», Tyumen, e-mail: info@ingeos.info

This article discusses methods of complex analysis for determining future levels of gas content for example, one of the areas of Eastern Siberia. Previously, carried out 2D seismic work and drilling data, the square was revealed and prepared for drilling gas deposits in the Permian-Triassic complex. With the aim of examining and detailing of structural-tectonic structure of the area was conducted 3D seismic survey, which resulted in the established block structure of the area and detailed structure of promising and potentially promising floors. Seismic wave field is characterized by the presence of «bright spots», due to the contrast of the physical parameters of coal and gas-bearing sandstones in the host rocks of Permian-Triassic and Cretaceous complexes, in connection with which was given the task of performing a comprehensive analysis to separate anomalies «coal», «gas» and identify gas deposits. This article describes the technology of AVO attribute analysis using petrophysical trends established on diagrams of logs in intervals of chalk and upper Permian, the rationale for selection of anomalies caused by traps HC.

Keywords: Vilyui synecline, the anomaly of the «bright spot», the method of AVO, petrophysical trends, acoustic impedance, hydrocarbon migration

Развитие метода AVO (метод AVO – Amplitude Variation with Offset) началось с конца 1980-х гг. и связано с началом регистрации на временных сейсмических разрезах «ярких пятен» («bright spot»). Было замечено, что резкое изменение амплитуд отраженных волн на сейсмических разрезах может быть связано с газовыми залежами. Дальнейшие наблюдения показали, что яркие амплитудные аномалии могут быть вызваны также литологическими замещениями, и стал развиваться новый подход к изучению «ярких пятен» – анализ изменения амплитуд с удалением от источника возбуждения упругих волн (analysis of Amplitude Variation with Offset) [1, 2]. В основных алгоритмах AVO-анализа используется аппроксимация уравнения Шуэ [1, 2] вида: $R(\theta) = R_0 + G_R \sin^2\theta$, в которой R_0

определяется только контрастностью акустической жесткости ($AI = Vp * \rho$) для продольных волн на границе двух сред, градиент G_R – величина изменения амплитуд с удалением, определяется соотношением продольных (Vp) и поперечных (Vs) волн и является параметром, наиболее чувствительным к насыщению флюидом [1, 2].

В настоящее время существует много разнообразных направлений развития и применения данного метода, в которых величины R_0 и G_R , являясь основными атрибутами анализа, образуют вторичные атрибуты.

В рамках данной статьи рассматривается технология построения трехмерных кроссплотов AVO – кроссплотов R_0 и G_R с использованием третьего параметра в цветочкообразном виде. Данная технология используется для решения задач прогнози-

рования газоносных объектов на месторождениях Вилюйской синеклизы.

В пределах рассматриваемых участков эффект аномального усиления амплитуд (эффект «ярких пятен») на реальных сейсмических данных дают как газовые залежи, так и угольные пропластки. Анализ каротажных кривых (АК и ГГКп) показал, что для изучаемой территории упругие характеристики углей и газонасыщенных песков имеют резкий контраст и их не сложно разделить по параметру AI (V_p^*p), но вмещающие породы, представленные высокоскоростными глинами и аргиллитами, имеют более широкий диапазон изменений значений упругих характеристик, внося тем самым неоднозначность в интерпретацию аномалий.

Проблему неопределенности удалось решить путем построения теоретических петрофизических трендов, основанных на данных каротажа. В качестве анализируемых параметров использовались AI и V_p/V_s . Деление типов литологии по тому или другому параметру позволило оценить информативность последнего для интерпре-

тации эффектов «ярких пятен» в сейсмическом волновом поле.

Информативный атрибут включался в цветокодированном виде в качестве третьего параметра для построения кроссплотов AVO, что позволило получить многомерную информацию и интерпретировать эффекты «яркого пятна» в пределах изучаемой территории.

Краткая характеристика участка работ

В административном отношении площадь работ находится на территории Вилюйского и Верхневилуйского районов Республики Саха (рис. 1).

В нефтегазоносном отношении участок исследований расположен в северо-западной части Вилюйской газоносной области, входящей в состав Хатанго-Вилюйской нефтегазоносной провинции. В разрезе данного участка ранее проведенными работами были выявлены два продуктивных комплекса: верхнепермский и нижнетриасовый. На соседних площадях были получены притоки газа из верхнеюрских и нижнемеловых отложений [4].



Рис. 1. Республика Саха (Якутия) (Научно-технический сборник № 3(19) /2014) [4]

В тектоническом отношении площадь расположена на северо-западном склоне Виллойской гемисинеклизы. Бурением вскрыты породы палеозойского (среднего – верхнего) и мезозойского возраста.

Фундамент в районе исследований и к востоку от него образует Виллойскую депрессионную зону, разделяющую Алданское, Анабарское и Оленекское поднятия. В пределах исследуемого участка рельеф фундамента представляет собой выступ, осложненный серией складок северо-восточного простирания. Доминирующая северо-восточная ориентировка тектонических элементов сохраняется на всех вышележающих этажах, прерываясь лишь в центральной части площади обособленными блоками. Вся сложившаяся система трещин и деформаций является благоприятным фактором для миграции УВ (рис. 2, а, б, в, г).

Анализ сейсмических данных

На площади исследований проведены сейсморазведочные работы 3D. На сейсмических разрезах в пределах исследуемого участка в интервалах продуктивных горизонтов и в тех интервалах, где по материалам ранее проведенных сейсморазведочных

работ 2D перспективные объекты не выделялись, фиксируются амплитудные аномалии типа «яркое пятно».

Сейсмоимидж аномалий верхней части разреза, в интервале отложений бергеинской свиты, соответствует образу тектонически экранированных ловушек (рис. 2, д, е). Подобный вывод сформировался по совокупности внешних признаков, таких как четкие очертания динамических аномалий, вписывающихся в блоки системы в купольной части поднятия, при наличии проводящей системы трещин и сдвиговых деформаций.

Сейсмоимидж объекта в низах разреза, в интервале отложений хомустанской свиты, по протяженной форме, окаймляющей поднятие с юго-запада и четким границам, повторяющим контур склона, соответствующим контур склона, соответствуют образу стратиграфической ловушки УВ.

Выделение газонасыщенных аномалий по сейсмическим данным традиционно проводится по технологии AVO, в частности, путем построения кроссплотов G_R как функция R_0 («интерцепт-градиент»). В данном случае в анализ привлекалась третья компонента, которая в цветокодированном виде содержала информацию о литологии: код раскраски точек кроссплота соответствовал тому или иному типу литологии.

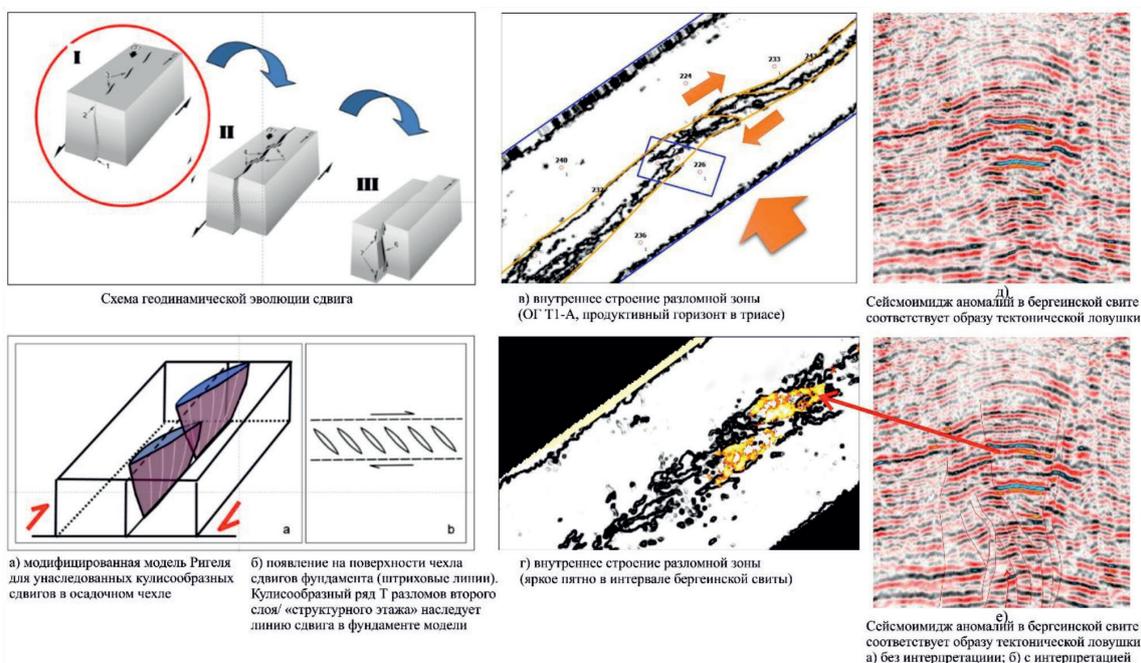


Рис. 2. Тектоническое строение территории: а, б – схема геодинамической эволюции сдвига; в, г – внутреннее строение разломной зоны в интервале триаса и нижнего мела; д, е – сейсмоимидж аномалий нижнего мела с интерпретацией и без интерпретации

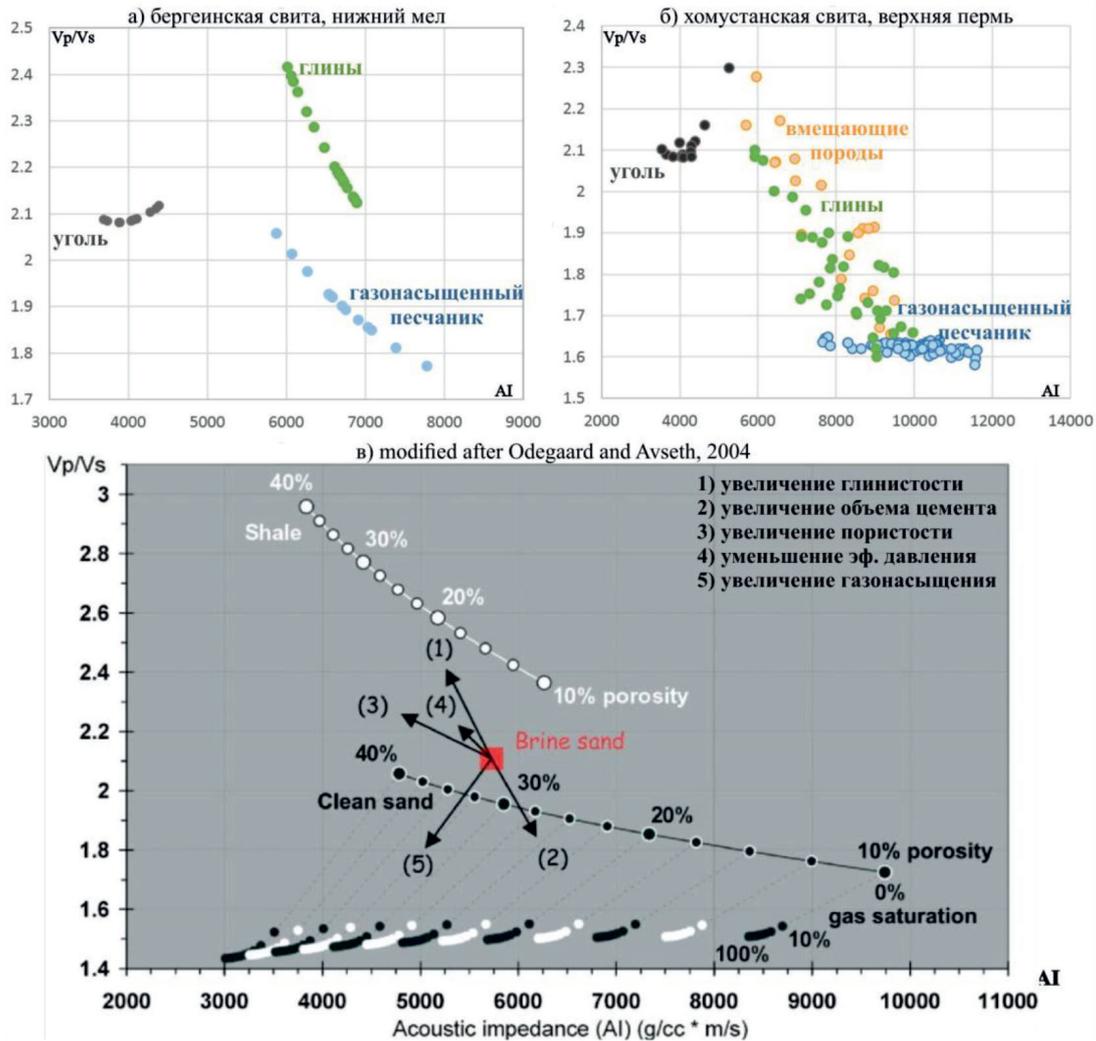


Рис. 3. Тренды распределения акустических свойств для пород: а) бергеинской свиты; б) хомустанской свиты; в) идеализированные теоретические тренды (Одегаард и Авсет, 2004)

Анализ каротажных диаграмм

Интерпретацию литологического состава и флюидонасыщения эффективно проводить по кроссплотам каротажных диаграмм [3, 5]. В качестве анализируемых параметров были выбраны упругие характеристики AI и V_p/V_s (V_p/V_s как функция AI). Код раскраски петрофизических трендов основан на выделении четырех литотипов в исследуемом интервале разреза: «уголь», «газонасыщенный песчаник», «глина», «вмещающие породы». Данная классификация основана на замерах в разрезе скважины потенциалов собственной поляризации, естественной радиоактивности пород и водородосодержания. Кроссплот включает в себя тренды распределения акустических свойств для углей и осадочных пород в за-

висимости от содержания в них глинистой компоненты и насыщения (рис. 3) [6].

На построенных по сейсмическим данным кроссплотам AVO локализуются отдельные группы аномалий, что говорит о чувствительности исследуемого волнового поля к контрастности скоростей поперечных волн и соотношений плотности на границах двух контактирующих сред. Классификацию AVO аномалий по литотипам можно осуществить путем введения в AVO кроссплоты в цветокодированном виде третьей компоненты.

Технологическая схема использования анализа AVO сводится к следующей последовательности:

1. Типизация разреза по диаграммам каротажа с назначением цветовых кодов.

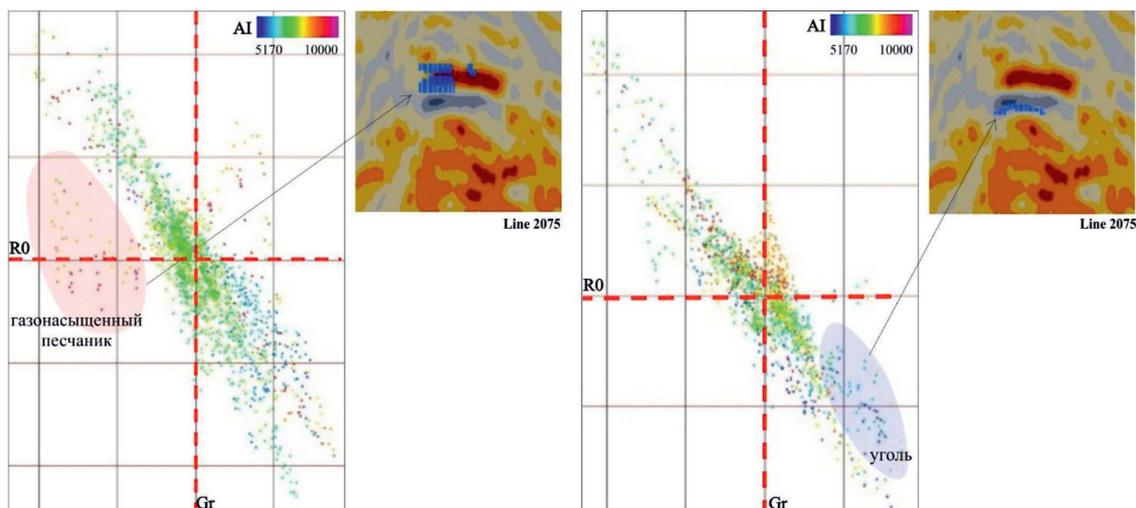


Рис. 4. Интерпретация результатов AVO-анализа для интервала отложений бергеинской свиты: слева – по коду раскраски кроссплота в сейсмическом волновом поле выделен литотип «газоносный песчаник»; справа – то же для литотипа «уголь»

2. Построение теоретических петрофизических трендов, выбор информативного параметра.

3. Построение трехмерных кроссплотов AVO, классификация аномалий AVO по типу литологии.

4. Выделение классов аномалий на временных сейсмических разрезах и на картах изохрон.

Построение петрофизических трендов и интерпретация результатов AVO-анализа в интервале нижнемеловых отложений

Исследованиями кернового материала в пределах этой и соседних площадей в отложениях нижнего мела, в бергеинской свите, установлены мощные песчаные пласты с хорошими коллекторскими свойствами. Покрышками песчаных тел являются слои высокоскоростных глин, залегающих под угленосной толщей. Поскольку на данном месторождении газонасыщенность нижних этажей разреза установлена по данным бурения, то наличие проводящей системы трещин и разломов, с одной стороны, и наличие покрышек, сложенных высокоскоростными глинистыми пропластками, с другой, могут служить благоприятными факторами для скопления УВ в ловушках тектонического типа в бергеинской свите.

Анализ каротажных кривых и типизация разреза проводились по скважине, хорошо

охарактеризованной керновым материалом. Код раскраски, присвоенный литотипам на диаграммах каротажа, перенесен в область кроссплота для интерпретации петрофизических трендов.

Из характера распределения данных на графике следует, что литотип «насыщенный песчаник» и литотип «уголь» контрастны по своим акустическим параметрам. Это означает, что выбор параметра AI для включения в кросс-плот AVO в качестве третьей переменной позволит с достаточной долей уверенности определить на кроссплотах AVO и в сейсмическом волновом поле аномалии, вызванные угольными пропластками.

Распределение данных каротажа по такому параметру, как «контрастность скоростей», показывает, что тренды анализируемых литотипов локализованы в разных диапазонах значений V_p/V_s . Из этого следует, что на кроссплотах AVO аномалии, вызванные насыщенными песчаниками, и аномалии, вызванные угольными пропластками, также локализируются в отдельные группы аномалий относительно фоновой линии, что позволит их идентифицировать в сейсмическом волновом поле (рис. 4).

Построение петрофизических трендов и интерпретация результатов AVO-анализа в интервале отложений верхней перми

На площади исследования бурением вскрыта толща терригенных отложений

верхней перми, где среди мощных плотных пластов аргиллитов, глин и углей залегают пласты песчаников различной глинистости. В скважинах 230 и 231 данный интервал представлен газоносными песчаниками с низкой пористостью и слабой проницаемостью, ввиду чего к испытанию не рекомендовался. В скв. 238, расположенной в купольной части структуры, из этого же пласта при испытании был получен промышленный приток газа.

трофических трендов для данного интервала. Значения по этому параметру не перекрываются, что является благоприятным фактором для включения AI в кроссплот AVO в качестве третьей переменной.

Перекрытие значений по параметру V_p/V_s говорит о том, что можно ожидать, что группы аномалий на кроссплотах AVO также будут перекрываться. Тем не менее в данной работе удалось идентифицировать в сейсмическом волновом поле амплитудные

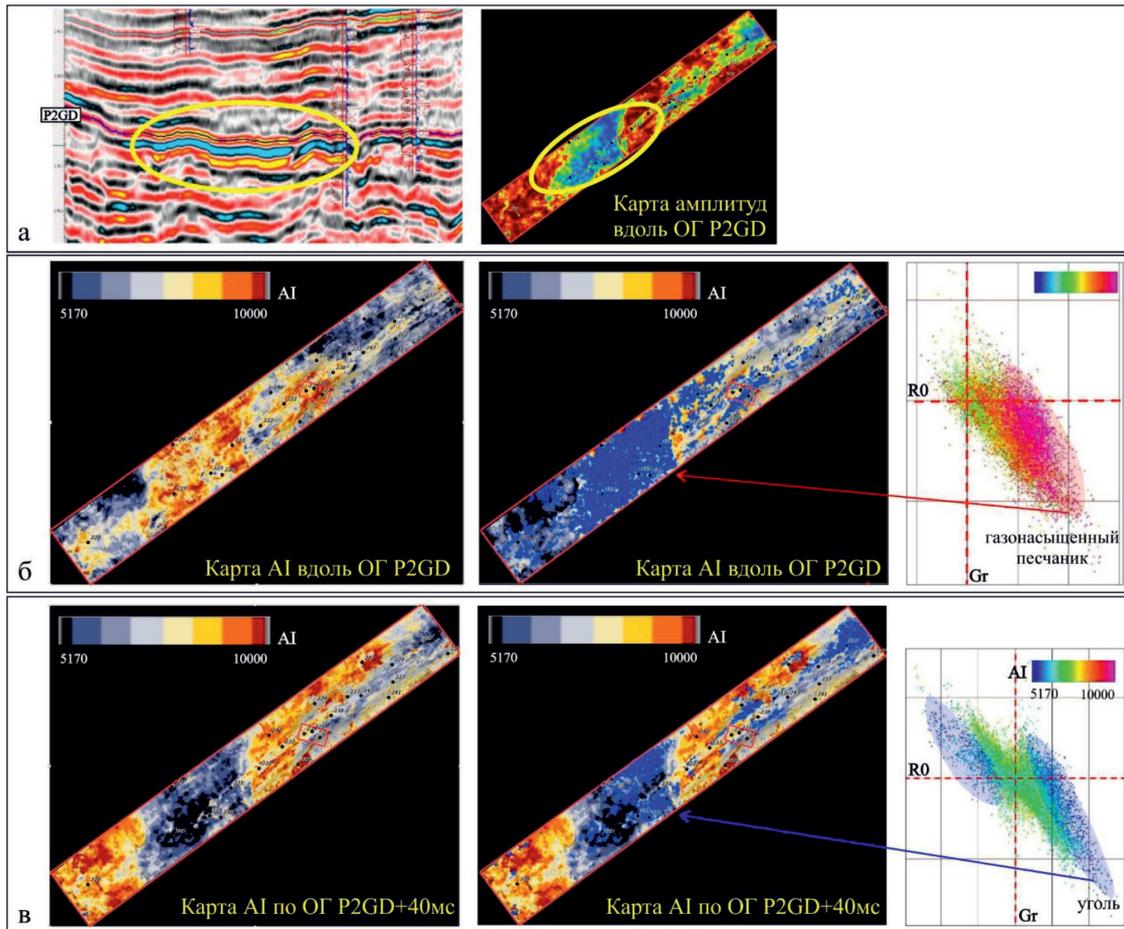


Рис. 5. Интерпретация результатов AVO-анализа для интервала отложений хомустанской свиты (верхняя пермь): а) сейсмоимидж ловушки; б) по коду раскраски кроссплота в сейсмическом волновом поле выделен литотип «газоносный песчаник»; в) то же для литотипа «уголь»

Эти газоносные залежи производят во временном сейсмическом поле эффект «ярких пятен». Ниже пласта на 30 м залегают мощный угольный пропласток, который дает аналогичный эффект «яркого пятна» (рис. 5). Контрастность литотипов «уголь» – «газоносный песчаник» по параметру AI можно установить по характеру распределения данных на диаграммах пе-

аномалии, связанные с газоносностью ловушки неструктурного типа в верхнепермских отложениях, и отличить их от аномалий, вызванных мощным пластом угля, залегающим ниже ловушки на 30 м (рис. 5).

Выводы

По результатам проведенных сейсморазведочных работ 3D выявлены текто-

нические ловушки в отложениях нижнего мела и уточнены контуры литологической ловушки верхней перми, детализировано тектоническое строение площади и установлена проводящая роль тектонических элементов. Построены петрофизические тренды и проведена интерпретация литологического состава для отложений бергеинской свиты нижнего мела и хомустанской свиты верхней перми. Проведен АВО-анализ с включением в технологическую цепочку результатов интерпретации петрофизических трендов, построенных по данным каротажных диаграмм, что позволило сократить риски при оценке перспектив газоносности исследуемых интервалов.

Данная работа проводилась на базе материалов, систематизированных и обработанных в ООО «ИНГЕОСЕРВИС» (г. Тюмень). Автор выражает свою благодарность сотрудникам и руководству компании за предоставленные материалы.

Список литературы

1. Бондарев В.И. Сейсморазведка. Учебник для вузов. – Екатеринбург: Издательство УГГУ, 2007. – 690 с.
2. Воскресенский Ю.Н. Изучение изменений амплитуд сейсмических отражений для поисков и разведки залежей углеводородов. Учебное пособие для вузов. – М.: РГУ нефти и газа, 2001. – 68 с.
3. Одегаард Эрик, Авсет Пер. Анализ каротажных диаграмм и сейсмических данных с использованием шаблона

физических свойств пород / First Break. – 2004. – № 10. – С. 37–43.

4. Коротков С.Б., Крючков В.Е., Семенова Е.В., Франчук А.А. Литолого-стратиграфическое районирование глубокозалегающих рифей-нижнекембрийских отложений Сибирской платформы на лицензионных объектах ОАО «Газпром» // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». – 2014. – № 3(19). – С. 89–98.

5. Bredeesen K., Jensen E.H., Johansen T.A. Avseth P. Quantitative seismic interpretation using inverse rock physics modelling // Petroleum Geoscience. – 2015. – № 4. – P. 271–284.

6. Mavko G., Mukerji T., and Dvorkin J. The Rock Physics Handbook. Published in the United States of America by Cambridge University Press. New York. First published in print format 2009. URL: <http://www.cambridge.org/9780521861366>.

References

1. Bondarev V.I. Sejsmorazvedka. Uchebnik dlja vuzov. Ekaterinburg: Izdatelstvo UGGU, 2007. 690 p.

2. Voskresenskij Ju.N. Izuchenie izmenenij amplitud sejsmicheskikh otrazhenij dlja poiskov i razvedki zalezhej uglevodorodov. Uchebnoe posobie dlja vuzov. M.: RGU nefii i gaza, 2001. 68 p.

3. Odegaard Jerik, Avset Per. Analiz karotazhnyh diagramm i sejsmicheskikh dannyh s ispolzovaniem shablona fizicheskikh svojstv porod / First Break. 2004. no. 10. pp. 37–43.

4. Korotkov S.B., Krjuchkov V.E., Semenova E.V., Franchuk A.A. Litologo-stratigraficheskoe rajonirovanie glubokozalezajushhijh rifej-nizhnkembrijskijh otlozhenij Sibirskoj platformy na licenzionnyh obektah ОАО «Газпром» // Nauchno-tehnicheskij sbornik «Vesti gazovoj nauki». 2014. no. 3(19). pp. 89–98.

5. Bredeesen K., Jensen E.H., Johansen T.A. Avseth P. Quantitative seismic interpretation using inverse rock physics modelling // Petroleum Geoscience. 2015. no. 4. pp. 271–284.

6. Mavko G., Mukerji T., and Dvorkin J. The Rock Physics Handbook. Published in the United States of America by Cambridge University Press. New York. First published in print format 2009. URL: <http://www.cambridge.org/9780521861366>.

УДК 553:551.86(571.16)

РЕКОНСТРУКЦИЯ ФАЦИАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ НЕФТЕНОСНЫХ ПЛАСТОВ Ю₁¹ И Ю₁² КАЗАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)**Черданцева Д.А., Краснощечкова Л.А., Меркулов В.П.***ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, e-mail: krasnl@yandex.ru*

В статье приводятся данные определения условий осадконакопления верхнеюрских коллекторов Казанского нефтегазоконденсатного месторождения. Для уточнения фациальной принадлежности изучаемых пород авторами проведена текстурная типизация кернового материала из дополнительно пробуренной разведочной скважины № 14. Все изучаемые образцы керна предварительно ориентировались палеомагнитным методом, что позволило получить данные об ориентировке осадочных текстур пород непосредственно на момент их образования. При изучении условий формирования отложений месторождения впервые применена методика объемной фотографической развертки керна для измерения элементов залегания слоев осадочного материала и детального изучения текстурных особенностей песчано-алевритовых пород. Описанные в статье типы и виды слоистости, совместно с данными гранулометрического анализа и литологического изучения пород, позволили определить обстановки юрского осадконакопления, наиболее характерные для изучаемых отложений. Был сделан вывод о прибрежно-морском генезисе песчаников в продуктивных пластах изучаемого месторождения.

Ключевые слова: месторождение нефти, пласт, фация осадконакопления, палеомагнитный метод, слоистая текстура

THE RECONSTRUCTION OF RESERVOIRS U₁¹ AND U₁² FORMATION FACIES CONDITIONS AT THE KAZANSKOE HYDROCARBON DEPOSIT (TOMSKAYA OBLAST)**Cherdantseva D.A., Krasnoshchekova L.A., Merkulov V.P.***National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: krasnl@yandex.ru*

The article deal with the reconstruction problem of Upper Jurassic petroleum reservoir sedimentation conditions at the Kazankoe hydrocarbon field. To determine the reservoir facies of the studied rocks, the authors used the core samples texture typing from an additional drilled prospect well No. 14. In this paper, the technique of a three-dimensional core sample photo was used for the first time, to measure the attitude of sedimentary material and detailed study of sandy-silty rocks texture features. All the studied core samples were previously oriented by the paleomagnetic method, which allowed obtaining the sedimentary rock textures orientation data on the moment of their formation. The types of sedimentary stratification described in the article, together with the data of granulometric analysis and lithological study of rocks, made it possible to determine the most representative conditions of the Jurassic sedimentation for the sediments under study. The conclusion about the coastal-marine genesis of sandstones in the productive strata of the studied deposit was made.

Keywords: oil deposit, reservoir, depofacies, paleomagnetic method, stratified structure

Казанское месторождение углеводородов было открыто в южной части Томской области в 1967 г. На сегодняшний день на месторождении выявлены нефтяной Ю₁¹, нефтегазоконденсатный Ю₁² и газоконденсатные пласты Ю₁³⁻⁴, Ю₃ и Ю₄. Для нефтяных залежей в ряде случаев границы зон их распространения проведены условно, особенно в областях отсутствия сейсмических данных, не все основные разновидности пород-коллекторов охарактеризованы образцами керна. Для решения указанных задач на месторождении в 2008 г. были пробурены дополнительные разведочные скважины, главным образом на основные пласты Ю₁¹ и Ю₁². В настоящей работе приведены результаты детального изучения текстурных характеристик образцов пород по раз-

резу скважины 14, позволяющие уточнить преобладающие литологические разности, слагающие пласты Ю₁¹ и Ю₁². Цель проведенных исследований заключалась в установлении последовательности осадконакопления терригенных пород изучаемых пластов и реконструкции фациальных условий их образования с возможностью в дальнейшем детализировать ранее построенные седиментационные модели месторождения.

Краткий очерк геологического строения месторождения

Казанское нефтегазоконденсатное месторождение располагается на востоке центральной части Западно-Сибирской низменности, в административном отношении – на территории Парабельского района

Томской области (рис. 1). В соответствии с нефтегазогеологическим районированием месторождение находится в пределах Казанского нефтегазоносного района, входящего в состав Васюганской нефтегазоносной области.

Геологическое строение, нефтегазоносность и палеогеографические условия образования юрского комплекса Западной Сибири подробно рассмотрены в работах [1–3].

Геологический разрез Казанского месторождения представлен песчано-глинистыми отложениями мезозойско-кайнозойского осадочного чехла, залегающими на метаморфизованных породах палеозойского складчатого фундамента. Среди доюрских отложений (мощностью до 18–42 м) отмечаются карбонатные, терригенно-карбонатные, вулканогенно-осадочные, грубообломочные терригенные, вулканические образования, часто разбитые карбонатными (сидеритовыми) прожилками и метасоматитами сложно-кремнисто-гидрослюдистого состава.

На породах фундамента с угловым и стратиграфическим несогласием залегают юрские отложения, представленные терригенными породами нижнего и среднего отделов урманской, тогурской, салатской свит и континентальными отложениями тюменской свиты. В пределах последней выделяются продуктивные пласты Ю₃ и Ю₄, имеющие слабое площадное распространение.

Образования верхнего отдела имеют преимущественно прибрежно-морской и глубоководно-морской генезис. К первым относятся породы васюганской свиты с алевропелитовым пластом Ю₁⁵⁻⁶ нижней подсвиты и песчаными пластами-коллекторами Ю₁¹, Ю₁² и Ю₁³⁻⁴ верхней подсвиты; общая мощность свиты составляет 40–70 м. Ко вторым, более глубоководным, – отложения георгиевской (мощность 4–9 м) и баженовской (мощность 24–31 м) свит, представленные аргиллитами с фауной аммонитов, белемнитов и включениями глауконита. Юрские отложения согласно и без перерывов перекрываются меловыми, палеозойскими и четвертичными отложениями.

Пласт Ю₁¹ вскрыт всеми скважинами и является одним из первоочередных объектов промышленной разработки месторождения. Основным нефтегазоносным пластом на месторождении считается пласт Ю₁² васюганской свиты, который прослеживается в разрезе всех скважин и занимает значительную часть Казанской структуры. Вниз по разрезу залегают продуктивный пласт Ю₁³⁻⁴, в котором отдельные пласты Ю₁³ и Ю₁⁴ разделены глинистым пропластком. При этом, в некоторых скважинах месторождения такой пропласток может вообще отсутствовать, в результате чего отмечаются окна слияния, позволяющие объединять пласты в единый гидродинамически связанный пласт.

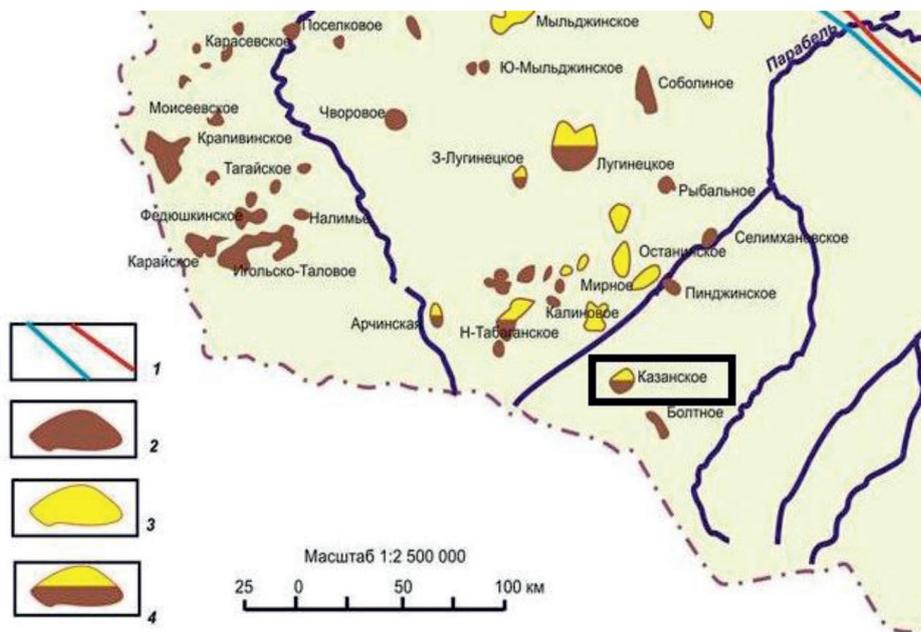


Рис. 1. Обзорная карта района исследования. Условные обозначения: прямоугольник – Казанское месторождение; 1 – магистральные трубопроводы; месторождения: 2 – нефтяные, 3 – газоконденсатные, 4 – нефтегазоконденсатные

Материалы и методы исследования

Объектом исследования данной работы являются образцы керна пород-коллекторов пластов Ю₁¹ и Ю₁² из скв. 14 Казанского месторождения (глубина отбора керна 2481,3–2516,7 и 2556,2–2562,4 м). Общее макроскопическое описание колонки керна составило более 40 м. Вещественный состав и структурно-текстурные характеристики отложений пластов детально охарактеризованы посредством изучения 16 образцов, предварительно ориентированных палеомагнитным методом, и выполненных из них шлифов. В дальнейшем особенности этих образцов комплексно изучены петрофизическим, морфоструктурным, петроструктурным методами. Для более точной и объемной характеристики текстурных особенностей были созданы круговые развертки ориентированного палеомагнитным методом на север керна, при этом на магнитометре снимался компонент вязкой намагниченности – угол между современным северным направлением и направлением на север в момент образования осадка. Использование в настоящее время для этих целей 3D-сканирования внутреннего ствола скважин является крайне дорогостоящей процедурой. Предложенная авторами методика создания объемной развёртки керна менее затратна и впервые используется в настоящей работе. Получение фоторазвёрток керна позволило проследить изменение текстурных особенностей породы в объёме, в том числе ориентировку и углы падения слойков, характер их распространения и взаимоотношения, количественное соотношение и другие характеристики осадочных образований. Схема построения круговой развертки керна для

детального изучения текстурных особенностей показана на рис. 2.

Результаты исследования и их обсуждение

Отложения пластов Ю₁¹ и Ю₁² представлены средне-мелкозернистыми песчаниками и алевроглинистыми породами. Песчаники сложены зернами кварца (60–75%), полевых шпатов (до 15–35%) и обломками пород (до 10–15%). Цемент песчаных пород варьирует в пределах 5–30%, представлен глинистым, глинисто-гидрослюдистым, каолининовым, хлоритовым пленочным и поровым закрытого и открытого типа; карбонатным – коррозионным и базальным типом.

Помимо однородных или микрослоистых песчаников встречаются песчаники с прослоями углисто-глинистого материала или линзовидными микровключениями глинистого вещества. Песчаники в разрезе чередуются с мелкозернистыми серыми алевролитами, для которых характерна пологоволнистая, реже линзовидно-волнистая и градационная слоистость, обусловленная чередованием песчаного и глинистого материала с толщиной отдельных слойков до 1–1,5 см. Слоистость в песчаниках и алевролитах часто нарушена биотурбацией. В породах наблюдаются тонкие прослои углистого (до 1 см), глинистого и сидеритового материала, остатки растительного детрита и конкреции и стяжения пирита диаметром до 2 мм [4, 5].

Типизация текстур отложений пластов Ю₁¹ и Ю₁², представленная в табл. 1, проводилась в соответствии с классификацией [6, 7] с привлечением данных [8, 9]. Фациальное расчленение разреза скважины основано на классификации макрофаций юрских отложений по [10] и отражено в табл. 2.



Рис. 2. Схема построения круговой развертки керна на 360 градусов, N – направление керна на палеосевер

Таблица 1

Типизация текстур осадочных отложений пластов Ю₁¹ и Ю₁² Казанского месторождения углеводородов на примере скв. 14

Тип	Вид	Особенности текстуры	
Неслоистая	однородная (массивная)	Однородное распределение песчаного материала	
	узловатая	Включение в среднезернистых песчаниках линзочек глинистого материала толщиной до 3,5 мм	
Неяснослоистая	градационная	Изменение гранулометрического состава зерен в песчанике	
Нарушенная (ходы илоседов)	частично нарушенная	Следы жизнедеятельности (илоседы и корневища растений)	
	полностью нарушенная		
Слоистая	Косоволнистая	слабосрезанная	Включения углистого вещества в алевролитовых прослоях в песчаниках
		флазерная	
	Линзовидная (линзовидно-волнистая)	слабо- и сильносмещенная	Наличие углисто-глинистых включений
	Пологоволнистая	параллельная	Чередование песчаных и алевролитовых слойков
непараллельная слабо- и сильносмещенная			
Горизонтальная	неравномерная (неоднородная)	Углистое вещество в тонких прослойках алевролитового материала в мелкозернистых песчаниках	

Таблица 2

Схема фациального расчленения по данным текстурного анализа образцов керн из скв. 14 Казанского месторождения

Группа	Подгруппа	Макрофация (название)
Континентальная	Аллювиальная	Пойменные отложения речных долин
	Озерная	Отложения застойных и заболачивающихся озер
		Отложения открытых озерных водоемов
Переходная (прибрежно-континентальная)		Отложения заливно-лагунного побережья
Бассейновая	Мелководно-бассейновая	Отложения открытого подвижного бассейнового мелководья

Вышеперечисленные текстурные характеристики пород свидетельствуют о наличии в разрезе неоднократной смены двух основных обстановок осадконакопления: континентальной и бассейновой. Фациальная характеристика отложений по разрезу скв. 14 представлена в табл. 3.

Выводы

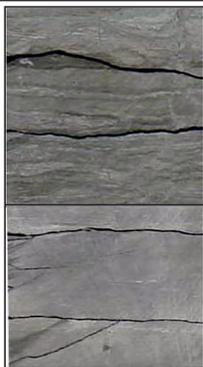
Изучение текстур пластов Ю₁¹ и Ю₁² Казанского месторождения по скв. 14 показало в разрезе отложений преобладание двух обстановок осадконакопления: континентальной и бассейновой при незначительном проявлении отложений переходной. Установлено, что накопление большей части алевролитов и тонкозернистых песчаников происходило в условиях заливно-лагунного побережья, в то время как наиболее нефтенасыщенные средне-мелкозернистые пес-

чаники, слоистость в которых подчеркнута редкими прослоями углисто-глинистого материала, вероятно, принадлежат к отложениям лагунных пляжей.

Отметим, что при изучении колонки керн по скв. 14 наиболее ярко проявлены виды слоистых текстур с преобладанием мелкой и очень мелкой пологоволнистой и волнистой слоистости, симметричной и асимметричной, часто как бы «растрепанной», подчеркнутой глинистыми и углистыми прослоями в алевролитовом материале, часто с проявлением биотурбации. Вышеперечисленные признаки указывают на тот факт, что накопление большей части отложений происходило в крайне мелководных условиях, распространенных на широкой площади, при наличии слабых и непостоянных течений и волнений, возможно, вызываемых даже слабым ветром.

Таблица 3

Анализ фациальных обстановок осадконакопления по скв. 14
Казанского нефтегазоконденсатного месторождения

Фациальные обстановки осадконакопления. Интервал отбора	Состав отложений	Текстуры. Типы и виды слоистости	Фрагменты керна из указанных интервалов
1	2	3	4
<p>Пойменные отложения речных долин</p> <p>2559,86–2560,55 м</p>	<p>Преимущественно песчано-алевритовые отложения с тонкими прослоями угля. Растительный детрит и отпечатки корней растений. Характерно подчеркивание слоистости растительным материалом на поверхности слоев</p>	<p>Частое чередование нескольких разновидностей волнистой слоистости – прерывистой пологоволнистой и косоволнистой с мелкой косой и горизонтальной (как правильной, так и неправильно-горизонтальной), чаще – неравномерной</p>	
<p>Отложения заливно-лагунного побережья.</p> <p>2514,28–2559,86 м 2501,84–2511,2 м 2490,5–2494,08 м 2481,3–2481,59 м</p>	<p>Чередование слоев мелкозернистого светло-серого глинистого песчаника с темно-серым аргиллитом, песчаник часто алевритистый с тонкими прослоями углистого, глинистого и сидеритового материала. Слоистая текстура выявляется чередованием более крупнозернистого и более тонкозернистого осадка. Ракушечник сложен карбонатизированными обломками раковин и редкими глинистыми прослоями</p>	<p>Преобладает мелкая волнистая (чаще асимметричная) и косоволнистая слоистость, обычно пологая, неправильная, прерывистая, отмечаются прослои с горизонтальной и мелкой линзовидной текстурой. Слоистость нарушена частыми текстурами взмучивания и оползания, а также ходами донных животных. Встречаются растительные осадки и редкая фауна</p>	
<p>Отложения полуизолированного малоподвижного бассейнового мелководья и открытого подвижного бассейнового мелководья.</p> <p>2494,08–2501,84 м 2481,59–2490,5 м</p>	<p>Песчаник мелко-тонкозернистый серый с прослоями темно-серого аргиллита и единичными тонкими прослоями глинистого материала. Песчаник мелко-среднезернистый, неоднородный, за счет чередования прослоев мелкой и средней размерности. Темно-серый аргиллит, чередующийся в разрезе с прослоями светло-серого алевролита. Песчаник часто карбонатный.</p>	<p>Переслаивание песчаника и аргиллита формирует пологоволнистую и полосчатую слоистость, чередование непараллельной, неравномерной, сплошной и прерывистой пологоволнистой мелкой слоистости. Горизонтальная слоистость средняя, неоднородная ритмическая, направленно изменяющаяся за счет смены гранулометрического состава материала</p>	

Список литературы

1. Белозёров В.Б. Палеогеографические особенности формирования нефтеносных пластов васюганской свиты Западной Сибири / В.Б. Белозеров // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311, № 1. – С. 67–72.
2. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде / А.Э. Конторович, В.А. Конторович, С.В. Рыжкова, и др. // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 8. – С. 972–1012.
3. Курчиков А.Р. Характеристика геологического строения и нефтегазонасности юрского нефтегазонасного комплекса Западной Сибири / А.Р. Курчиков, В.Н. Бородкин. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2015. – 140 с.
4. Черданцева Д.А. Типизация текстур пласта Ю₁¹⁻² на примере скв. 14 Казанского нефтегазоконденсатного месторождения (Томская область) // Уральская горная школа – регионум: сборник докладов Международной научно-практической конференции. (Екатеринбург, 2012, 23–24 апреля). – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2012. – С. 64–65.
5. Черданцева Д.А. Фациальный анализ отложений верхнеюрских пластов Казанского нефтегазоконденсатного месторождения (Томская область) / Д.А. Черданцева // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 7–2. – С. 28–31.
6. Ботвинкина Л.Н. Методическое руководство по изучению слоистости / Л.Н. Ботвинкина. Тр.ГИН АН СССР. – М.: Наука, 1965. – Вып. 119. – 260 с.
7. Ботвинкина Л.Н. Слоистость осадочных пород / Л.Н. Ботвинкина. Тр. ГИН АН СССР. – М.: Наука, 1962. – Вып. 59. – 542 с.
8. Барабошкин Е.Ю. Практическая седиментология. Терригенные резервуары. Пособие по работе с керном / Е.Ю. Барабошкин. – М.: ГЕРС, 2011. – 152 с.
9. Чернова О.С. К вопросу о классификации текстур осадочных горных пород на современном этапе развития литологических исследований / О.С. Чернова // Фациальный анализ в нефтегазовой литологии: труды II Регионального совещания (Томск, 2012 г.). – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – С. 338–349.
10. Алексеев В.П. Атлас фаций юрских терригенных отложений (угленосные толщи Северной Евразии) / В.П. Алексеев. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007. – 209 с.

References

1. Belozjorov V.B. Paleogeograficheskie osobennosti formirovaniya neftenosnyh plastov vasjuganskoj svity Zapadnoj Sibiri / V.B. Belozjorov // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. 2007. T. 311, no. 1. pp. 67–72.
2. Paleogeografija Zapadno-Sibirskogo osadochnogo bassejna v jurskom periode / A.E. Kontorovich, V.A. Kontorovich, S.V. Ryzhkova, i dr. // Geologija i geofizika. 2013. T. 54, no. 8. pp. 972–1012.
3. Kurchikov A.R. Harakteristika geologicheskogo stroenija i neftegazonosnosti jurskogo neftegazonosnogo kompleksa Zapadnoj Sibiri / A.R. Kurchikov, V.N. Borodkin. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2015. 140 p.
4. Cherdanceva D.A. Tipizacija tekstur plasta Ju₁¹⁻² na primere skv. 14 Kazanskogo neftegazokondensatnogo mestorozhdenija (Tomskaja oblast) // Uralskaja gornaja shkola regionam: sbornik dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. (Ekaterinburg, 2012, 23–24 aprelja). Ekaterinburg: Izd-vo UGGU, 2012. pp. 64–65.
5. Cherdanceva D.A. Facialnyj analiz otlozhenij verhnjejurskih plastov Kazanskogo neftegazokondensatnogo mestorozhdenija (Tomskaja oblast) / D.A. Cherdanceva // Sovremennye naukoemkie tehnologii. 2014. no. 7–2. pp. 28–31.
6. Botvinkina L.N. Metodicheskoe rukovodstvo po izucheniju sloistosti / L.N. Botvinkina. Tr.GIN AN SSSR. M.: Nauka, 1965. Vyp. 119. 260 p.
7. Botvinkina L.N. Sloistost osadochnyh porod / L.N. Botvinkina. Tr. GIN AN SSSR. M.: Nauka, 1962. Vyp. 59. 542 p.
8. Baraboshkin E.Ju. Prakticheskaja sedimentologija. Terrigennye rezervuary. Posobie po rabote s kernom / E.Ju. Baraboshkin. M.: GERS, 2011. 152 p.
9. Chernova O.S. K voprosu o klassifikacii tekstur osadochnyh gornyh porod na sovremennom etape razvitija litologicheskikh issledovanij / O.S. Chernova // Facialnyj analiz v neftegazovoj litologii: trudy II Regionalnogo soveshhanija (Tomsk, 2012 g.). Tomsk: Izd-vo TPU, 2012. pp. 338–349.
10. Alekseev V.P. Atlas facij jurskih terrigenyh otlozhenij (uglenosnye tolshhi Severnoj Evrazii) / V.P. Alekseev. Ekaterinburg: Izd-vo UGGU, 2007. 209 p.

УДК 622.692

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТИ НА НИЗКИХ ЧАСТОТАХ**¹Шайхутдинова М.Ш., ²Гоц С.С., ²Ямалетдинова К.Ш.**¹АО «Транснефть-Урал», Уфа, e-mail: margarita.shajkhutdinova@yandex.ru;²ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», Уфа

В диапазоне частот от 4 Гц до 1 кГц и в диапазоне температур от 20 °С до 60 °С проведены экспериментальные исследования температурных зависимостей частотных характеристик активной составляющей электропроводности и фазово-частотных характеристик образцов нефти. Показано, что в диапазоне температур 40 °С и ниже электрофизические характеристики исследуемой нефти соответствуют свойствам типичных диэлектриков, а при температурах 50 °С и выше образцы нефти проявляют электрофизические свойства типичных полупроводников. Полученные при различных температурах графики фазово-частотных характеристик отличаются относительно слабой зависимостью фазовых углов от частоты и имеют ярко выраженную температурную зависимость. Наличие множества локальных экстремумов на фазово-частотных характеристиках свидетельствует о существовании поляризационных процессов с различными временами релаксации, распределенными в широком диапазоне значений.

Ключевые слова: электрофизические свойства нефти, импедансная спектроскопия, фазово-частотная характеристика, активная составляющая электропроводности, электропроводность

EXPERIMENTAL STUDIES OF ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF OIL AT LOW FREQUENCIES**Shaykhutdinova M.Sh., Gots S.S., Yamaletdinova K.Sh.**¹Joint Stock Company «Transneft-Ural», Ufa, e-mail: margarita.shajkhutdinova@yandex.ru;²Bashkir State University, Ufa

The experimental investigations measuring temperature dependences amplitude-frequency characteristics of active component complex resistance and phase-frequency characteristics of complex conductivity of oil at low frequencies one of specific oil samples were carry out in the frequency range from 4 Hz to 1 kHz and a temperature range from 20 °C to 60 °C. It is shown that in the temperature from 40 °C and below electro physical characteristics of this oil take to the properties of typical dielectrics, and at temperatures of 50 °C and higher, oil samples have the electro physical properties of typical semiconductors. Taken phase-frequency characteristic has got weak dependence from frequency and has got bright dependence from temperature, which shows existence processes with different times of relaxation in different range of values.

Keywords: electrophysical properties of oil, impedance spectroscopy, the phase-frequency response, active component complex resistance, conductivity

Нефть представляет собой многокомпонентную смесь, состоящую из различных углеводородов, парафинов, асфальтенов, смол, механических примесей и других компонентов [1]. В зависимости от своего физико-химического состава нефть обладает теми или иными свойствами. По своей природе нефть занимает промежуточное положение между диэлектриками и полупроводниками [2]. В настоящее время большое внимание при изучении свойств нефти уделяется импедансной и адмиттансной спектроскопии, суть которой заключается в подаче тестового синусоидального напряжения определенной частоты f на изучаемый образец и регистрации для каждой из устанавливаемых частот f величины и сдвига фазы $\varphi(f)$ тока, проходящего через образец. Исследования электрофизических свойств нефти производятся как на постоянном, так и на переменном токе

в различных диапазонах частот. Ранее были изучены электрофизические свойства асфальтосмолопарафиновых отложений [3–5]. В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований фазово-частотных характеристик и частотных характеристик активной компоненты комплексной проводимости нефти с месторождения «Ащисай» на низких частотах в диапазоне температур от 20 °С до 60 °С. Данные исследования основаны на применении универсального метода импедансной (адмиттансной) спектроскопии [6–9], использование которой возможно при работе с различными образцами, в том числе с такими, как нефть, вода, масло и другие. По своим физико-химическим свойствам нефть с месторождения «Ащисай» содержит 19,32 % парафинов, 16,14 % силикагелевых смол и 0,49 % асфальтенов, причём значение плотности при 15 °С составляет

847,1 кг/м³, при 20 °С – 843,5 кг/м³, значение кинематической вязкости уменьшается при увеличении температуры: при 20 °С равна 52,6 мм²/с, при 30 °С – 20,5 мм²/с, при 40 °С – 13,3 мм²/с, при 50 °С 8,4 мм²/с, при 60 °С – 5,2 мм²/с. Следовательно, при увеличении температуры образцов нефти наблюдается уменьшение значения плотности и кинематической вязкости, что можно связать с плавлением парафинов и смол. Можно ожидать, что указанные температурные особенности могут привести и к изменению электрофизических свойств нефти. Целью исследования является проведение измерений температурных зависимостей частотных характеристик активной составляющей электропроводности и фазово-частотных характеристик нефти на низких частотах.

Суть применяемой нами методики измерений заключалась в следующем. Исследуемый образец помещался в диэлектрический контейнер, снабженный плоскоструйными электродами, выполненными из алюминиевой фольги. Температура в диапазоне от 20 °С до 60 °С поддерживалась за счет применения термостата и измерялась при помощи выносного датчика температуры. Функциональная схема установки изображена на рис. 1.

Суть измерений заключается в следующем. Сигнал, который формирует виртуальный генератор сигналов 1, после усиления в усилителе мощности 2, в виде синусоидального напряжения с частотой f , поступает соответственно на исследуемый образец 3 и эталонный резистор 4. Токи $i_1(t, f)$ и $i_2(t,$

$f)$, соответственно протекающие через 3 и 4, создают на нагрузках 6 напряжения, которые затем поступают соответственно через усилители напряжения 11 и 12 на аналогово-цифровые преобразователи 7 и 8. Цифровые коды с выходов последних вводятся в персональный компьютер и обрабатываются с помощью программы «Двухканальный анализатор сигналов» [10]. Исследования были выполнены при длительной выдержке нефти для каждой температуры с целью установления стабильных электрофизических характеристик.

На рис. 2 и 3 для пяти фиксированных значений температур представлены результаты измерений фазово-частотных характеристик и частотных характеристик активной составляющей электропроводности нефти образца. Представленные графики показывают наличие температурной зависимости на всем диапазоне частот от 4 Гц до 1 кГц. При увеличении температуры от 20 °С до 60 °С на всех исследуемых частотах наблюдается увеличение значений электропроводности образца и одновременное уменьшение фазового сдвига $\varphi(f)$ приблизительно от 90 ° до 15 °. При этом в диапазоне от 40 °С до 60 °С наблюдается значительно большее по абсолютной величине изменение угла сдвига фаз, которое для частоты 4 Гц составляет приблизительно от 77 ° до 17 °. В диапазоне температур от 20 °С до 40 °С для частоты 4 Гц температурные изменения фазовых сдвигов меняются в пределах от 90 ° угловых градусов до 77 °.

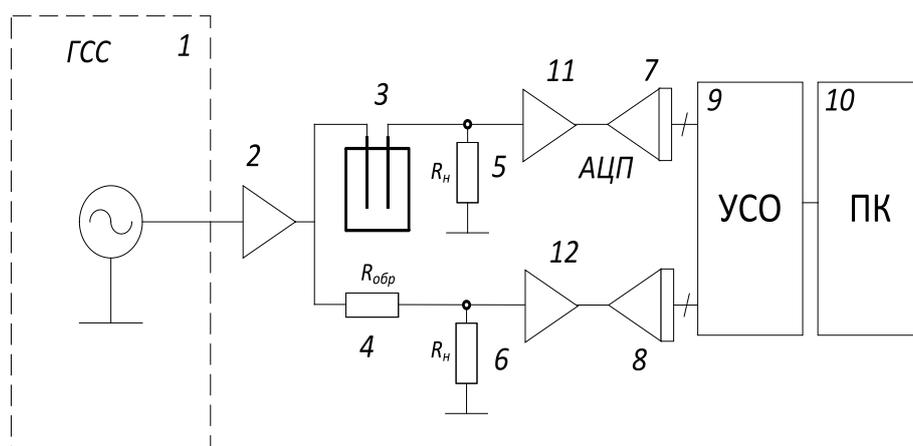


Рис. 1. Функциональная схема лабораторной установки для исследования электрофизических характеристик нефти: 1 – виртуальный генератор сигналов на базе ПК; 2 – усилитель мощности; 3 – измерительная ячейка для образца нефти; 4 – эталонный резистор; 5, 6 – входные нагрузки; 7, 8 – аналогово-цифровой преобразователь (АЦП); 9 – устройство сопряжения с объектами АЦП с ПК; 10 – виртуальный двухканальный анализатор сигналов на базе ПК; 11, 12 – усилители напряжения

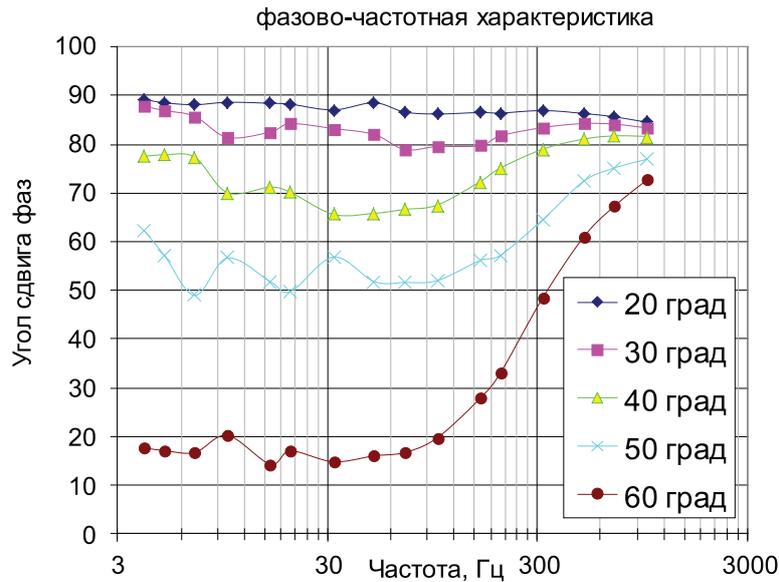


Рис. 2. Фазово-частотные характеристики нефти с месторождения «Ацисай» для пяти фиксированных температур

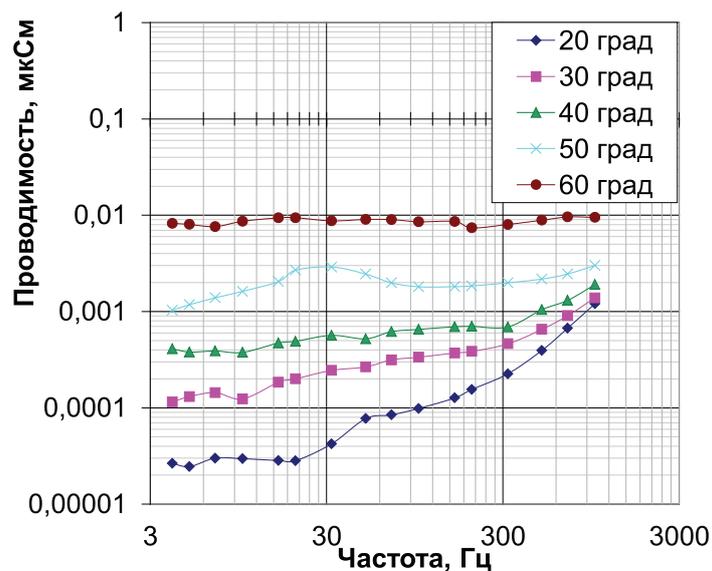


Рис. 3. Частотная характеристика активной составляющей электропроводности нефти с месторождения «Ацисай» для пяти фиксированных температур

Полученные при различных температурах графики фазово-частотных характеристик отличаются относительно слабой зависимостью от частоты фазовых углов сдвига между током и напряжением и имеют ярко выраженную температурную зависимость величин фазовых сдвигов. Наличие множества локальных экстремумов на фазово-частотных характеристиках свидетельствует о существовании поляризационных процессов с различными временами релаксации, распределенными

в широком диапазоне значений. При низких температурах фазовые углы сдвига между током и напряжением составляют около 90° , что характерно для классических диэлектриков. При высоких температурах значения угла сдвига фаз приближаются к 0° , что более характерно для полупроводников и металлов.

Анализируя представленные на рис. 3 графики частотных зависимостей компоненты активной составляющей комплексной электропроводности, можно говорить о моно-

тонном увеличении ее абсолютной величины при увеличении температуры. В отличие от исследованных ранее электрофизических характеристик АСПО [5], на данном графике нет большого разрыва в значениях в диапазонах температур от 20 до 40 °С и от 40 до 60 °С. Тем не менее имеющийся разрыв в значениях углов сдвига фаз при температуре ниже и выше 40 °С свидетельствует о наличии у нефти диэлектрических свойств при температурах ниже 40 °С и проявлении полупроводниковых свойств при температурах выше 40 °С. Указанные изменения мы связываем с тем, что при повышении температуры образцов нефти выше 40 °С происходит плавление твердых парафинов, которые содержатся в сравнительно большом количестве по отношению к другим составляющим в нефти. Кроме того, следует отметить, что различия между значениями активной составляющей электропроводности при изменении температуры выражены значительно больше на частотах меньше 50 Гц. На частотах выше 300 Гц наблюдается существенное сближение активной проводимости при изменении температуры.

Результаты исследований необходимо учитывать при эксплуатации нефтебаз и нефтехранилищ при возможном возникновении электростатических разрядов, связанных с низкой электропроводностью нефти при относительно низких температурах.

Выводы

1. На низких частотах образцы нефти проявляют диэлектрические свойства при температурах ниже 40 °С и полупроводниковые свойства при температурах 50 °С и выше.

2. Наличие множества локальных экстремумов на фазово-частотных характеристиках свидетельствует о существовании поляризационных процессов с временами релаксации, распределенными в широком диапазоне значений.

3. В диапазоне частот от 4 Гц до 1 кГц для каждой фиксированной частоты величина компоненты активной составляющей комплексной электропроводности монотонно возрастает при увеличении температуры. Наиболее сильно указанные изменения выражены на частотах ниже 50 Гц.

Список литературы

1. Вержичинская С.В. Химия и технологии нефти и газа / С.В. Вержичинская, Н.Г. Дигуров, С.А. Синицин. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. – 400 с.
2. Кернбах С. Анализ сверхслабых взаимодействий методом электрохимической импедансной спектроскопии // С. Кернбах, И. Куksин, О. Кернбах // Журнал формирующейся направлений науки. – 2016. – № 11(4). – С. 6–22.
3. Шайхутдинова М.Ш. Энергетические характеристики процессов электропроводности асфальтосмолопарафиновых

отложений / М.Ш. Шайхутдинова, С.С. Гоц, К.Ш. Ямалетдинова // Научные технологии в решении проблем нефтегазового комплекса: материалы Межд. молодежной науч. конф. (Уфа, 19–24 дек. 2016 г.). – Уфа: РИЦ БашГУ. – 2016. – С. 79–80.

4. К вопросу об исследовании физико-химического состава асфальтосмолопарафиновых отложений / М.Ш. Шайхутдинова [и др.] // Нефтегазовые технологии и новые материалы. Проблемы и решения: сб. науч. тр. – Уфа: ООО «Монография», 2016. – Вып. 5 (10). – С. 363–366.

5. Шайхутдинова М.Ш. Автоматизированная установка для исследования низкочастотных электрофизических характеристик асфальтосмолопарафиновых отложений / М.Ш. Шайхутдинова, С.С. Гоц, К.Ш. Ямалетдинова // Актуальные проблемы микро- и нанoeлектроники: сборник тезисов докладов IV Всерос. научной молодежной конференции с международным участием (Уфа 29 ноября – 2 декабря 2016 г.). – Уфа: РИЦ БашГУ, 2016. – С. 59–60.

6. Бёккер Ю. Спектроскопия / Ю. Бёккер. – М.: Технофера, 2009. – 528 с.

7. Goual Lamia. Impedance Spectroscopy of Petroleum Fluids at Low Frequency // Energy & Fuels. – 2009. – vol. 23, issue 4. – P. 2090–2094.

8. Barsoukov E. Impedance spectroscopy: theory, experiment and application / E. Barsoukov, J.R. Macdonald. – N.Y.: Wiley. – 2005. – P. 595.

9. Perini N., Prado A.R., Sad C.M.S., Castro E.V.R., Freitas M.B.J.G. Electrochemical impedance spectroscopy for in situ petroleum analysis and water-in-oil emulsion characterization // Fuel. – 2012. – vol. 91, Issue 1. – P. 224–228.

10. Гоц С.С. Низкочастотный анализатор сигналов в микроэлектронных блоках аппаратуры связи // Лекции и научные статьи Всерос. конф. с элементами научной школы «Приборное и научно-методическое обеспечение исследований и разработок в области микро- и наноэлектроники». – Уфа, 2011. – С. 79–85.

References

1. Verzhichinskaja S.V. Himija i tehnologi nefti i gaza / S.V. Verzhichinskaja, N.G. Digurov, S.A. Sinicin. M.: FORUM: INFRA-M, 2007. 400 p.
2. Kernbah S. Analiz sverhslabyh vzaimodejstvij metodom jelektrohimičeskoj impedansnoj spektroskopii / S. Kernbah, I. Kuksin, O. Kernbah // Zhurnal formirujushihhsja napravlenij nauki. 2016. no. 11(4). pp. 6–22.
3. Shajhutdinova M.Sh. Energetičeskie harakteristiki processov jelektroprovodnosti asfaltosmoloparafinyh otlozhenij / M.Sh. Shajhutdinova, S.S. Goc, K.Sh. Jamaletdinova // Naukoemkie tehnologii v reshenii problem neftegazovogo kompleksa: materialy Mezhd. molodeznoj nauch. konf. (Ufa, 19–24 dek. 2016 g.). Ufa: RIC BashGU. 2016. pp. 79–80.
4. K voprosu ob issledovanii fiziko-himičesko go sostava asfaltosmoloparafinyh otlozhenij / M.Sh. Shajhutdinova [i dr.] // Neftegazovye tehnologii i novye materialy. Problemy i reshenija: sb. nauch. tr. Ufa: OOO «Monografija», 2016. Vyp. 5 (10). pp. 363–366.
5. Shajhutdinova M.Sh. Avtomatizirovannaja ustanovka dlja issledovanija nizkochastotnyh jelektrofizičeskih harakteristik asfaltosmoloparafinyh otlozhenij / M.Sh. Shajhutdinova, S.S. Goc, K.Sh. Jamaletdinova // Aktualnye problemy mikro- i nanojelektroiki: sbornik tezisov dokladov IV Vseross. nauchnoj molodeznoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (Ufa 29 nojabrja 2 dekabrja 2016 g.). Ufa: RIC BashGU, 2016. pp. 59–60.
6. Bjokker Ju. Spektroskopija / Ju. Bjokker. M.: Tehnofera, 2009. 528 p.
7. Goual Lamia. Impedance Spectroscopy of Petroleum Fluids at Low Frequency // Energy & Fuels. 2009. vol. 23, issue 4. pp. 2090–2094.
8. Barsoukov E. Impedance spectroscopy: theory, experiment and application / E. Barsoukov, J.R. Macdonald. N.Y.: Wiley. 2005. pp. 595.
9. Perini N., Prado A.R., Sad C.M.S., Castro E.V.R., Freitas M.B.J.G. Electrochemical impedance spectroscopy for in situ petroleum analysis and water-in-oil emulsion characterization // Fuel. 2012. vol. 91, Issue 1. pp. 224–228.
10. Goc S.S. Nizkochastotnyj analizator signalov v mikrojelektronnyh blokah apparatury svjazi // Lekcii i nauchnye stati Vseross. konf. s jelementami nauchnoj shkoly «Pribornoe i nauchno-metodičeskoje obespečenie issledovanij i razrabotok v oblasti mikro i nano jelektroiki». Ufa, 2011. pp. 79–85.